TÜYAK 2026
ULUSLARARASI YANGIN GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU VE SERGİSİ
INTERNATIONAL FIRE SAFETY
SYMPOSIUM AND EXHIBITION
21 - 23 EKİM OCTOBER 2026

BİLDİRİLER KİTABI
PROCEEDING BOOK

Yeni Yangın Yönetmeliği
New Building Fire Regulation



İstanbul, 2026
www.tuyak.org.tr

TÜYAK 2026
ULUSLARARASI YANGIN GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU VE SERGİSİ

© 2026 Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı. Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tamamı veya herhangi bir bölümü, Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı'nın yazılı izni olmadan fotokopi, elektronik, mekanik, vb. yollarla kopya edilip çoğaltılamaz. Kaynak belirtmek koşuluyla alıntı yapılabilir.

EKİM 2026
ISBN: 978-605-4185-14-6

TÜYAK
Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı /Derneği
Perpa Ticaret Merkezi, B Blok Kat:9 No: 1376
Okmeydanı Şişli 34384 İSTANBUL
Tel: 0212 320 24 04
Fax: 0212 320 24 03
Mail: tuyak@tuyak.org.tr
Web: www.tuyak.org.tr

DOĞA AJANS
Doğa Ajans ve Ticaret Ltd. Şti.
Mail: info@dogayayin.com
Web: www.dogayayin.com

ÖNSÖZ

Değerli Katılımcılar,

Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı ile Yangından Korunma Derneği tarafından ilk olarak 2009 yılında düzenlenen Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi'nin dokuzuncusu olan TÜYAK 2026'yı gerçekleştirmenin gururunu yaşıyoruz.

Bu yılki sempozyumumuzun ana teması "Yeni Yangın Yönetmeliği" olarak belirlendi ve bu vesileyle Türkiye'de yangın güvenliği ile ilgili mevzuatın gelişimini özetlemek faydalı olacaktır.

Ülkemizdeki ilk Yangından Korunma Yönetmeliği, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yayınlanmıştır. İstanbul için yayınlanan bu yönetmeliğin taslağı, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından hazırlanmış, İstanbul İtfaiye Müdürlüğü tarafından kısaltılmış ve daha sonra İnşaat, Makina, Elektrik ve Kimya Mühendisleri Odaları ile Mimarlar Odası'nın ve ilçe belediye başkanlıkları ile ilgili dairelerin görüşleri alınmıştır. İletilen görüşler doğrultusunda yeniden düzenlenen yönetmeliğin tartışılması için 13 Mayıs 1990 tarihinde bir panel düzenlenmiş ve panelde kararlaştırılan hususlar yönetmeliğe dahil edilmiştir. Panelin ardından Mühendis ve Mimar Odalarından ikinci kez görüşler alındıktan sonra, Hukuk müşavirliği görüşü alınmış ve İmar Yönetmeliği ile uyumu değerlendirilmiştir.

Yönetmelik taslağı üzerindeki tüm çalışmalar tamamlandıktan sonra Eylül 1991'de İstanbul Büyükşehir Belediye Meclisi'ne sunularak, nihayet 16 Ocak 1992 tarihinde Belediye Meclisi'nde kabul edilen "İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yangından Korunma Yönetmeliği" yürürlüğe konulmuştur. Böylece, Türkiye'deki itfaiyeler içinde ilk defa İstanbul İtfaiyesi'nde mühendis ve mimar çalıştırılmaya, yeni yapıların projeleri İtfaiye Müdürlüğü'ndeki uzmanlar tarafından yangın güvenliği açısından incelenmeye başlanmıştır.

Türkiye itfaiyeleri için bir reform niteliğinde olan bu yönetmelik bir başlangıç teşkil etmiş olup, diğer şehirlerde de örnek alınarak ve her geçen gün genişletilerek uygulanmaya başlanmıştır. Günümüzde gelişmiş ülkeler seviyesinde bir Yangından Korunma Yönetmeliğimizin olmasını, bu ilk yönetmeliğe borçluyuz.

1992'de TÜYAK Vakfını kuran Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç, dönemin Cumhurbaşkanı Süleyman Demirel'i, 11 Ağustos 1998 tarihinde Vakıf Yönetim Kurulu ile ziyaret ederek Türkiye için kapsamlı bir yangın yönetmeliği hazırlanması sürecine destek vermesini talep etmişti. 16 Şubat 2000 tarihinde İTÜ Makine Fakültesi'nde başlatılan ve iki yıl boyunca yapılan 20'den fazla toplantıya çok sayıda Mimar ve Mühendis Odaları, Üniversiteler, İtfaiye Teşkilatları ve Sivil Toplum Kuruluşları temsilcileri katıldı. Bu sürece; Sivil Savunma Genel Müdürlüğü, Bayındırlık Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu, Mimarlar Odası, Elektrik Mühendisleri Odası, Makine Mühendisleri Odası, Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul Büyükşehir İtfaiyesi ve Bursa İtfaiyesi, Uludağ Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, TTMD, DOSİDER, POMSAD, GESİDER, İZODER, TÜYAK gibi kurum ve kuruluşlar destek verdi. Dönemin Sivil Savunma Genel Müdürlüğü Daire Başkanı Sabahattin Özçelik'in de önemli katkıları ile, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik 26 Temmuz 2002'de yayınlanarak yürürlüğe girdi.

2002 yönetmeliği, Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne girme sürecinde Avrupa standartlarını tercüme edip kullanma ihtiyacını karşılamadığı için bu standartlarla uyumlu hale getirilmesine ihtiyaç duyuldu. Ayrıca bu yönetmelikte mevcut binalar ile ilgili hükümler yer almadığı için, yönetmeliğin yayınlanmasından önce inşa edilmiş binalara, yeni binalar için hazırlanmış hükümlerin uygulanmasından kaynaklanan problemlerin de giderilmesi gerekiyordu. Bu gerekçelerle İçişleri Bakanlığı tarafından; Sivil Savunma Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi, TÜYAK ve üniversitelerin katılımıyla bir komite kuruldu ve bir süre sonra yeni yönetmelik hazırlık çalışmaları sorumluluğu Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na devredildi. Dönemin müsteşar yardımcısı Sayın Mahmut Küçük yönetiminde 2002 Yönetmeliği'nin yerini alan yeni yönetmelik, 27.11.2007 tarihinde yürürlüğe girdi.

Bugün halen geçerli olan 2007 yönetmeliğinde yapılan revizyon çalışmalarının ilki Bayındırlık ve İskan Bakanlığı sorumluluğunda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi ev sahipliğinde ve sivil toplum kuruluşları, itfaiyeler ve

üniversitelerin katılımıyla başlatıldı. 16 aylık bir çalışma neticesinde 09.09.2009 tarihinde 2007 yönetmeliğinin esaslı değişikliğe uğradığı ilk revizyon gerçekleştirildi.

2012, 2015, 2017, 2018, 2020, 2021 ve 2025 yıllarında, bugünkü adıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ihtiyaca binaen her defasında sınırlı sayıda maddede değişiklik yapılmasını içeren revizyonlar gerçekleştirildi.

2024 yılının Eylül ayında Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ev sahipliğinde düzenlenen bir çalıştay ile, belediyelerin itfaiye birimlerinden, kamu kurumlarından, üniversitelerden, meslek odalarından ve Tüyak da dahil olmak üzere birçok sivil toplum kuruluşunun temsilcilerinden, gerek yönetmelik değişiklikleri hakkında gerekse çalıştay katılımcılarıyla basılı olarak paylaşılan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu Taslağı hakkında görüş ve öneriler talep edildi. Çalıştaydan sonra da 2024 yılı içinde Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği tarafından, Tüyak da dahil olmak üzere ilgili kurumlar tarafından yazılı olarak Bakanlık'a iletilen yönetmelik hükümlerinde değişiklik önerilerinin tartışıldığı toplantılar gerçekleştirildi ve 2024 yılı Aralık ayında Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu yayınlandı. Yönetmelik değişikliği ile ilgili çalışmaların devam ettiği süreçte, 21 Ocak 2025 tarihinde Kartalkaya'da yaşanan yangın faciasının ardından, üzerinde çalışılmaya başlanmış olan yönetmelik değişiklikleri ile sınırlı kalmayan ve yapılacak değişikliklerin kapsamı genişletilerek 2007 yönetmeliğinin yerini alacak yeni bir yönetmelik yayınlanması kararlaştırıldı. Ayrıca ruhsat süreçlerini tamamlamış olan binaların belirli aralıklarla periyodik kontrollere tabi tutulmasına ve itfaiye birimlerinin yanısıra gerektiğinde bu tür kontrolleri yapabilecek yetkinliğe sahip yangın güvenlik uzmanları yetiştirilmesine yönelik ayrı bir yönetmelik hazırlığı çalışmalarına başlandı.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2024 yılı Eylül ayında ev sahipliği yaptığı çalıştayla başlayıp, aynı yıl Ankara'da yapılan toplantılarla devam eden yönetmelik hükümlerindeki değişiklik önerilerinin tartışıldığı toplantılarda TÜYAK etkin bir şekilde yer aldı. Ayrıca 2024 ve 2025 yıllarında Tüyak tarafından Antalya'da düzenlenen çalıştaylar aracılığıyla, gerek güneş enerji sistemleri ile elektrikli araç ve batarya yangınlarına karşı alınacak yangın güvenlik önlemlerinin belirlenmesi gibi dünya çapında üzerinde en çok araştırma yapılan yangın güvenliği konularında, gerekse ülkemizde yaşanan Kartalkaya yangını felaketinin ardından konaklama tesislerinde yangın güvenlik önlemlerinin periyodik kontrolüne yönelik kontrol listeleri hazırlanması gibi yerel ihtiyaçlara yönelik çalışmalarla, aynı zamanda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın benzer konularda yürütmekte olduğu çalışmalara destek sağlayan çalışmalara imza atıldı. Özellikle Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü Genel Müdür Yardımcısı Murat Bayram, Tüyak'ın tüm çalışmalarını yakından izledi ve katılım gösterdi. Yeni yönetmeliğin yakın zaman içinde yürürlüğe girmesi bekleniyor.

Ülkemizdeki yangın güvenliği bilincinin artırılmasına yönelik olarak Tüyak tarafından düzenlenen etkinlikler, yangın güvenliği sektörüne katkıda bulunmak için çaba sarfeden çok sayıda kişi, kurum ve firmanın desteği ve siz katılımcıların bu etkinliklere gösterdiği ilgi sayesinde ücretsiz olarak gerçekleştirilmeye devam etmektedir.

Bu vesileyle TÜYAK etkinliklerinde emeği geçen tüm kurul ve komisyon üyelerimize, katkıda bulunan sponsor firmalarımıza, makale veya bildiri yayınlayarak, sunum yaparak, eğitim vererek teknik bilgi paylaşan uzmanlara, TÜYAK 2026'da görev alan tüm kişi ve kurumlara ayrı ayrı teşekkürü borç biliriz.

Son olarak, kendisini ülkemizde yangın güvenliği konusunun gelişmesine adayan ve bu yolda herbiri birbirinden değerli eserlere imza atan değerli Hocamız Sayın Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ'ı minnetle ve özlemle anıyoruz.

Saygılarımla,

Kazım Beceren
TÜYAK Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı ve Yangından Korunma Derneği Başkanı

ÖNSÖZ

2009 yılından beri her iki yılda bir yapılan uluslararası yangın güvenliği sempozyum ve sergisi etkinliğimizin dokuzuncusu, "Yeni Yangın Yönetmeliği" ana temasıyla, 21-23 Ekim 2026 tarihleri arasında İstanbul Lütfi Kırdar Kongre Merkezi'nin Rumeli Salonu'nda gerçekleşecektir.

TÜYAK 2026'nın birinci gününde, davetli konuşmacıların yer aldığı iki özel oturum düzenlenmiş olup, diğer iki günün programında yer alan 20 oturum, eşzamanlı olarak dört ayrı salonda yapılacaktır. Üç gün boyunca sunumu yapılacak toplam 84 adet bildiriyi hazırlayan Türk ve yabancı yazar profili; üretici temsilcileri, itfaiye amirleri, akademisyenler, danışmanlar, işletme teknik ekipleri, denetim kuruluşlarında görevli uzmanlar ve sigorta kuruluşu temsilcileri gibi yangın güvenliği sektörünün birçok bileşenini kapsayan geniş bir yelpazeden oluşacaktır.

TÜYAK 2026 sempozyumunun açılış oturumuna İngilitere, İzlanda, Suudi Arabistan ve Rusya'dan konuşmacılar davet edilmiştir. İkinci oturumda ise, son yıllarda güncelleme çalışmaları için yoğun emek verilen TS EN 12845 standardının düzenleme komitelerinde yer alan uzmanlar tarafından, revizyon çalışmalarının güncel durumu hakkında bilgi paylaşılacaktır. Sempozyumun diğer günlerinde gerçekleştirilecek 20 farklı oturumda; ahşap yapı malzemeleri, mevcut ve tarihi yapılar elektrikli araç ve batarya yangınları, köpük söndürme maddelerinin çevreye etkileri, yangın algılama ve uyarı sistemlerinde özel uygulamalar, tehlikeli maddelerin kullanımı, depolanması ve taşınması gibi yangın güvenliğinin farklı disiplinlerine yer verilen sunumlar gerçekleştirilecektir.

Sempozyumun kapanışı, "Yeni Yangın Yönetmeliği" hakkındaki bir forum ile yapılacaktır. Bu foruma katılan dinleyiciler, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan, Türk Standartları Enstitüsü'nden ve Makine Mühendisleri Odası'ndan ve TÜYAK'tan konuşmacılara yeni yangın yönetmeliği ile ilgili sorularını yöneltme ve görüşlerini paylaşma şansına sahip olacaktır.

Bu sempozyum vesilesiyle yangın güvenliğinin belirli bir disiplini hakkında ayrıntılı bilgi edinmek isteyen katılımcılara yönelik olarak, konularında uzman TÜYAK üyesi eğitmenler tarafından verilen ve katılımcı sayısı 50 kişi ile sınırlı olan herbiri bir günlük üç farklı kurs düzenlenecektir. Önceden kayıt yaptırılarak katılım sağlanabilen bu kursların başlıkları: "Kurs-1: Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği", "Kurs-2: Yangın Algılama Sistemleri" ve "Kurs-3: Sprinkler Sistemi Tasarımı" şeklinde belirlenmiştir.

Ülkemizde yangın güvenliği bilincinin artırılmasına yönelik çalışmaları ilke edinen TÜYAK'ın gerçekleştireceği TÜYAK 2026'nın başarıyla gerçekleşmesi çok sayıda kişi ve kurumun katkısı ve emeği ile mümkün olabilmektedir. Öncelikle TÜYAK'ın kurulmasında ve bu değerli organizasyonun ülkemize kazandırılmasında en büyük pay sahibi olan merhum Prof.Dr.Abdurrahman KILIÇ'ı rahmet, minnet ve özlemle anıyorum. Sempozyum ve sergi etkinliğinin tüm katılımcılar için ücretsiz olarak faydalanılabilir olmasını sağlamak için sponsor olan ve katkıda bulunan firma ve kuruluşlara, hazırladıkları bildiriler ve yaptıkları sunumlarla yangın güvenliği ile ilgili çalışmalarını katılımcılarla paylaşan bildiri sahiplerine, forum konuşmacılarına ve oturum başkanlarına, sempozyum kapsamında düzenlenen kurslarda eğitmen olarak görev alan uzmanlara, organizasyonda görev alan Sempozyum Yürütme Kurulu üyelerine, Tüyak Yönetim Kurulu ile Sempozyum Bilim Kurulu ve Danışma Kurulu üyelerine, Tüyak yetkililerine ve organizasyon firması personellerine teşekkür ediyorum. Ayrıca bu organizasyona doğrudan katkı veren kişi ve kurumların yanısıra, yangın güvenliğine gösterdikleri ilgi sayesinde bu sempozyum ve sergi etkinliğinin devamlılığı için en önemli motivasyon kaynağı olan tüm katılımcılara TÜYAK 2026 sempozyum yürütme kurulu adına ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum.

Sempozyumda sunumları yapılan toplam 84 adet çalışmaya ilave olarak, programda sunum için yer bulunamadığı halde kitapta yer verilen 7 adet bildiriyle birlikte toplam 91 adet bildirinin yer aldığı bu kitabın sektörümüz için yararlı bir kaynak olmasını diliyorum.

Saygılarımla,

Gökhan Balık
Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026



Yangın ve güvenlik sektörünün buluşma noktası bu yıl
''Yeni Yangın Yönetmeliği''
temasıyla düzenleniyor !

Üç gün boyunca sektörün önde gelen uzmanları,
kurumları ve firmaları bir araya geliyor; yeni teknolojiler,
sistemler ve mevzuat değişiklikleri masaya yatırılıyor.

Tema: **Yeni Yangın Yönetmeliği**
Tarih: **21 - 22 - 23 Ekim 2026**
Yer: **İstanbul Lütfi Kırdar Kongre Merkezi**

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026

1. GÜN 21 EKİM 2026 ÇARŞAMBA	SALON-1
08.00 - 09.30	KAYIT
09.30 - 10.30	**AÇILIŞ KONUŞMALARI**
10.30 - 11.00	KAHVE ARASI
11.00 - 12.40	**1. OTURUM** **Farklı Ülkelerdeki Yangın Yönetmelikleri ve Özel Çözüm Gerektiren Durumlar**
	Oturum Başkanı: Gökhan Balık (TÜYAK)
	1.1 Steve McGuirk Grenfell'den Sistem Reformuna: İngiltere'deki Bina ve Yangın Kodlarının Yeniden Yapılandırılması
	1.2 Björn Karlsson Performansa Dayalı bir Bina Yönetmeliği'ne Doğru İlerleyiş ve Yangın Güvenliği Mühendisliği Eğitiminin Geliştirilmesi
	1.3 Abdullah Elrefai, Mustafa Fares Suudi Bina Yönetmelikleri ve Mevcut Binalarda Yangın Güvenliğini Sağlamanın Farklı Yöntemleri
	1.4 Alexander Sergeevich Gudkov Dünyadaki Nükleer Santrallerde Yaşanan Kaza ve Yangınların Tarihi
12.40 - 15.30	ÖĞLE ARASI **1. GÜN ÖĞLE ARASINDAN İTİBAREN SERGİ ALANI ZİYARETE AÇILACAKTIR**
15.30 - 17.10	**2. OTURUM** **Yağmurlama Sistemiyle İlgili Türk-Avrupa Standardındaki Güncellemeler** **TS EN 12845 - Sabit Yangın Söndürme Sistemi - Otomatik Sprinkler Sistemleri**
	Oturum Başkanı: Taner Kaboğlu (TÜYAK)
	2.1 Alan Brinson EN 12845'in Revizyonunda Neler Değişti?
	2.2 Karim Karzazi ESFR ve CMSA Yağmurlama Sistemlerinin Tasarımı ve Montajı: EN 12845-2
	2.3 Matteo Alessandro Baleni "Otomatik Yağmurlama Sistemlerinde EN 12845-3:2004 Kapsamında Sismik Koruma Deprem Bölgelerinde Yangından Korunumun Güvenilirliğini Sağlamak
	2.4 Mark Fessenden Yazılı Kurallardan Performansa: NFPA, EN 12845 ve FM Arasında Yağmurlama Sistemi Tasarımının Karşılaştırılması

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026

2. GÜN 22 Ekim 2026 PERŞEMBE	Salon-1	Salon-2
08.00 - 09.00	KAYIT	
09.00 - 10.40	**OTURUM-3** **Elektrikli Araç ve Batarya Yangınları**	**OTURUM-4** **Büyük Ölçekli Yangınlar ve Yangın Sonrası Hasar Tespiti**
	Oturum Başkanı: Cemal Kozacı (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Saadet Alkış (Akdeniz Üniversitesi)
	3.1 Vesa Linja-aho 2025 Yılında Finlandiya'da Elektrikli Araç Bataryalarının Yer Aldığı Dört Yangın Vakası - Öğrenilen Dersler	**4.1 Sıla Yılmaz, Uğur Demir** Kır-Kent Arayüzü (WUI) Yangınlarının Erken Tahmini ve Risk Yönetiminde Kullanılan Yaklaşımlar: Türkiye için bir Değerlendirme
	3.2 Murat Kula, Celil Ata Sevindi, Egehan Salim Güngör Elektrikli Araç Batarya Yangınları: Söndürme Yöntemleri ve Önleyici Tedbirler	**4.2 Ahmet Tayfur Küçüktığlı, Ali Giray** Konya'da Büyük Çarşı Yangını (1867) ve Şehrin Fiziksel Dönüşümü Üzerindeki Etkileri
	3.3 Gökhan Aktaş, Halil İbrahim Polat Lityum İyon Bataryalı Araç ve Ekipmanlarda Yangın Korunum Konseptinde DIN Spec 91489 ve ISO 3941: 2026 (L Sınıfı) Standartlarının Getirdikleri	**4.3 Nefise Akdağ, Uğur Demir** Yangın Sonrası Yapıların Hasar Tespitine İlişkin Yönetmeliklerin Karşılaştırılması
	3.4 Massud Sayar, Antonio Terio Batarya Enerji Depolama Sistemleri ve Diğer Li-iyon Batarya Uygulamaları için Koruma	
10.40 - 11.00	ARA	
11.00 - 12.40	**OTURUM-7** **Köpük Söndürme Maddelerinin Çevreye Etkileri**	**OTURUM-8** **Bina Koşullarının Kaçış Güvenliğine ve Yangına Müdahaleye Etkisi**
	Oturum Başkanı: Özlem Karadal Güneç (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Didem Saloğlu (İstanbul Teknik Üniversitesi)
	7.1 Gerard Visser Sprinkler Sistemlerinde Florsuz Köpüklere Geçiş: Zorlu bir Değişim mi, Yoksa Basitçe İşin Doğrusunu Yapma Meselesi mi?	**8.1 Mehmet Ekim** Kaçış Yolları ve Yangın Merdivenleri Tasarımı
	7.2 Dursun Kuzey Şahin PFAS İçeren Yangın Söndürme Köpüklerinden Yeni Nesil Flor İçermeyen Köpüklere Geçiş Nasıl Olmalı?	**8.2 Latif Erdoğan, İbrahim Navruz, Yusuf Özel** Yangın Gelişim Evrelerinin Müdahale Stratejileri Açısından Analizi
	7.3 Yusuf Arslan Yangın Korunum Sistemleri Seçiminde Yasal Çevre Düzenlemeleri ve Sürdürülebilirlik Hedeflerinin Etkisi	**8.3 Şemsettin Parlak, Ramazan Aktepe** Yangın Ortamında Hayatta Kalma Analizi: İç ve Dış Müdahale Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Dinamikleri
	7.4 Kübra Özcan Yeni Yangın Yönetmeliği Kapsamında Yangın Söndürme Sistemlerinde Çevre Dostu Teknolojilere Geçiş: Sürdürülebilir ve Yüksek Performanslı Yaklaşımlar	**8.4 Salih Palacıoğlu, Enes İlhan Ay, Selçuk Şenay, Hakan Serhad Soyhan** Yapısal ve Pasif Yangın Güvenliği Tedbirlerinin İtfaiyeci Emniyeti Açısından Değerlendirilmesi
12.40 - 15.30	ÖĞLE ARASI **SERGİ ALANI TÜM GÜN ZİYARETE AÇIK OLACAKTIR**	
15.30 - 17.10	**OTURUM-11** **Mutfak Yangınları**	**OTURUM-12** **Yangınla Mücadeleyi Etkileyen Unsurlar ve İtfaiyecilikte Eğitim**
	Oturum Başkanı: Cem Hozan (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Levent Yasa (TÜYAK)
	11.1 İrfan Arguz, Aliye Ayan Mutfak Yangınları ile İlgili Yönetmeliklerin Karşılaştırılması	**12.1 Hasan İşci, Zeydin Sarpdağ, Ahmet Mert Aydın, Muhammed Fatih Celep** Yangın Yükü Hesaplamalarının Yapısal Yangın Güvenliği Açısından Önemi ve Uygulama Yöntemleri
	11.2 İbrahim Karakaş NFPA 96 Kapsamında Ticari Mutfak Havalandırma Sistemlerinde Yangın Güvenliği Gereklilikleri	**12.2 Mehmet Altuğ Küçükosmanoğlu** Yangın Güvenliği Mevzuatının Mesleki Eğitime Yansımaları: Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Önlisans Programı Örneği
	11.3 Muammer Akgün, Barbaros Batur Alışveriş Merkezlerindeki Yemek Katlarında Yangın Riskinin Azaltılması Uygulamaları	**12.3 Serkan Korkmaz** NFPA 1660 Çerçevesinde Bütünleşik Acil Durum Yönetimi: Acil Müdahale Ekiplerinin Hazırlık, Eğitim, Koordinasyon ve Operasyonel Yeterliliği
		12.4 Gizem Ezgi Sereyim Yangınlarda Altın Dakika: Aktif Söndürme Sistemlerinin Hayati Rolü

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026

2. GÜN 22 Ekim 2026 PERŞEMBE	Salon-3	Salon-4
08.00 - 09.00	KAYIT	
09.00 - 10.40	**OTURUM-5** **Yeni Teknolojiler ve Yapay Zeka**	**OTURUM-6** **Yapı Malzemeleri**
	Oturum Başkanı: Bağcan Vila (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Sedat Altındaş (Abant İzzet Baysal Üniversitesi)
	5.1 Umut Barış Yılmaz Binaların Yangınla Mücadele Sistemi Tasarımında Yapay Zeka Kullanımı	**6.1 Tolga Aycı, Tunahan Demirbaş** Modern Cephe Sistemlerinde Yangın Güvenliği ve Yönetmelik Değerlendirmesi
	5.2 Murat Çalış Yapay Zekâ Destekli Yangın Algılama Sistemlerinin Yangın Güvenliğine Katkısı	**6.2 Toros Ağabeyoğlu, Bilal Iğdır** Yüksek Binalarda Çatı Kaplama Malzemeleri Yanıcılık Sınıfı
	5.3 Simge Şalcıoğlu, Ezgi Korkmaz Yangın Güvenliğinde Yapay Zeka Destekli Değerlendirme Yaklaşımları	**6.3 Mehmet Okay** Yapı Malzemelerinde Yangın Güvenliği Değerlendirmesinde Duman Toksisitesinin Rolü
	5.4 Adem Çakır Yangın Güvenliği Sistemlerinde Güvenli Uzaktan Hizmetler: EN 50710 Standart Analizi ve Cyber Resilience Act (CRA) Çerçevesinde Siber Dayanıklılık	**6.4 Ezgi Korkmaz, Seda Serbest Yenidünya, Hande Apak, Büşra Demircan İbiş, Z.Gülşah Koç, Raşit Eren Cangür, Gökçe Tuna, Nabi Yüzer, Cem Bülent Üstündağ, Muhammed Maraşlı** Biyomalzeme Tabanlı Yapı Ürünleri Ve Yangın
10.40 - 11.00	ARA	
11.00 - 12.40	**OTURUM-9** **Risk Yönetimi**	**OTURUM-10** **Mevcut Yapılar ve Tarihi Yapılar**
	Oturum Başkanı: Ceyhun Eren (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Mustafa Özgünler (Mimar Sinan Üniversitesi)
	9.1 Burkay Karadayı, Etkin Hasgül Sabit Kıymet Risk Yönetiminde Risk Minimizasyonunun Yangın Sigortacılığında Finansal Katkıları Üzerine Bir Çalışma	**10.1 Betül Yıldız, Mustafa Özgünler** Tarihi Yapılarda Yangın Güvenliğinin Koruma İlkeleri Ekseninde Değerlendirilmesi
	9.2 Hatice Canan Güngör Akıllı Şehirlerde Yangın Risk Yönetimi ve CBS Tabanlı Yaklaşımlar	**10.2 Ayşe Selin Türkmen, Semih Göksel Yıldırım** Mevcut ve Tarihi Yapılarda Yangın Güvenliği Yönetiminde Mevzuat Eksiklikleri ve Uygulama Zorlukları
	9.3 Ergin Gençer Kritik Enerji Altyapılarında Bütünleşik Yangın Güvenliği: Mevzuat Adaptasyonundan Dijital İkiz Tabanlı Risk Yönetimine Stratejik Yaklaşım	**10.3 Esma Birekul, Nuri Serteser** Tarihi Binalar için Yangın Kompartımanı Tasarımının Performansa Dayalı Yaklaşımlar Açısından Değerlendirilmesi
	9.4 Canberk İzci Güvenilirlik ve Standartlar Perspektifinden Yeni Nesil Otomatik Yangın Söndürme Sistemlerinin Değerlendirilmesi	**10.4 Atakan Kiremitçi** Mevcut Binalarda Yangın Önlemlerinin Bir Üniversite Binası Örneği ile Değerlendirilmesi
12.40 - 15.30	ÖĞLE ARASI **SERGİ ALANI TÜM GÜN ZİYARETE AÇIK OLACAKTIR**	
15.30 - 17.10	**OTURUM-13** **Duman Yayılımının Önlenmesi ve Gelişmiş Tasarım Araçları**	**OTURUM-14** **Tehlikeli Maddelerin Kullanımı, Depolanması ve Taşınması**
	Oturum Başkanı: Mustafa Bilge (MTMD- Mekanik Tesisat Müteahhitleri Derneği)	**Oturum Başkanı:** Kemal Terzioğlu (ÇOSB İtfaiye)
	13.1 A.Gamze Saygılı Dumanın Sağlık Üzerine Etkileri ve Duman Tahliye Sistemlerinin Önemi	**14.1 Taner Kaboglu** Yanıcı ve Parlayıcı Sıvıların Bulundurulduğu Endüstriyel Tesisler ve Depo Binalarında Alınacak Yangın Tedbirlerine Uluslararası Standartlar Çerçevesinde Bakış
	13.2 Evren Uygur Yangın Damperleri, Duman Kontrol Damperleri ve Yangın/Duman Damperlerinin Tasarım, Uygulama ve İşletim Şartları ve Gereklilikleri	**14.2 Mehmet Ferit Pekeroğlu, Nurcan Pekeroğlu** Patlayıcı Atmosferlere Sahip Büyük Endüstriyel Tesislerde Elektriksel İş Kazası ve Yangın Sonuçlarının Değerlendirilmesi
	13.3 Ali Serdar Gültek Aspirasyon Sistemlerinde CFD Analizi ile Yangın Yayılımının Belirlenmesi	**14.3 Kübra Erden** Rafinerilerde Yangın Risklerinin Yönetiminde Proses Emniyeti Yaklaşımı: HAZOP'tan Operasyona Entegre Bir Model
	13.4 Okan Toker Duman Kontrol Mühendislik Hesap Yazılımı ile Duman Kontrolü ve Basınçlandırma Sistemlerinin Uluslararası Standartlara Göre Analizi	**14.4 Ahmet Demir** ADR Mevzuatı Kapsamında Yanıcı Kimyasal Lojistik Depolarında Yangın Güvenliği

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026

3. GÜN 23 Ekim 2026 CUMA	Salon-1	Salon-2
08.00 - 09.00	KAYIT	
09.00 - 10.40	**OTURUM-15** **Yangın Algılama ve Uyarı Sistemlerinde Özel Uygulamalar**	**OTURUM-16** **Yangın Pompaları ile Yağmurlama Sisteminde Çeşitli Uygulama Detayları**
	Oturum Başkanı: Haluk Yanık (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** Mustafa Değirmenci (TÜYAK)
	15.1 Avinash Virale, Anja Rätzke, Felix Heck, Uwe Keppler, Bulent Toksoz Dağıtık Fiber Optik Doğrusal Isı Algılama Teknolojisi Kullanılarak Farklı Fotovoltaik Tesislerde Yangın Algılamanın Deneysel Değerlendirilmesi	**16.1 Serdar Kınık** TS EN 17451 ve NFPA 20'nin Karşılaştırmalı İncelenmesi ve Yangın Yönetmeliğinde Kullanımı
	15.2 Deniz Arzu Araz Batarya Enerji Depolama Sistemlerinde (BESS) Erken Algılama, Söndürme Stratejileri: Saha Testleri ve Çözüm Analizi	**16.2 Tülin Erdoğan** Sprinkler Sistemlerinde Engel Kaynaklı Koruma Zafiyetleri ve Engel Altı Sprinkler Yerleşim Kuralları
	15.3 İlker Topuz EN 54-25 Kapsamında Kablosuz Yangın Algılama Sistemlerinin Güvenilirliği: Teknik Gerçekler ve Türkiye'de Kabul Bariyerlerinin Analizi	**16.3 Oğuzhan Ahmet KARA** Türkiye'de Yangın Güvenliğinde Sismik Koruma: Mevzuat, Sertifikasyon ve Uygulamalar Açısından İncelenmesi
	15.4 Rene Jarvers Sesli ve Işıklı Yangın Uyarı Sistemlerinin EN 54'e Göre Planlama Gereksinimleri	**16.4 Esra Eraslan** Yangın Söndürme Sistemlerinde Sismik Askılama Tasarımı ve Gereklilikleri
10.40 - 11.00	ARA	
11.00 - 12.40	**OTURUM-19** **Ahşap Yapı Malzemeleri**	**OTURUM-20** **Yangın Söndürme Sistemlerinde Özel Uygulamalar**
	Oturum Başkanı: Celalettin Akça (Ulusal Ahşap Birliği)	**Oturum Başkanı:** Merve Keskin (TÜYAK)
	19.1 Elif Kaynak, Oisik Das Yapısal Uygulamalarda Ahşabın Yangın Performansının Geliştirilmesi: Güncel Zorluklar ve Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar	**20.1 Selçuk Şanlı** Gazlı Yangın Söndürme Sistemlerinin Karakteristik Özellikleri ve Sistem Seçim Kriterleri
	19.2 Coskun Yarar Doğal Yaşlanmanın Dış Ortam Uygulamalarında Kullanılan Yangın Geciktirici İşlem Görmüş Ahşabın Yangına Tepki Performansı Üzerindeki Etkisi	**20.2 Vatan Şenol** EN 12094-1 Opsiyonel Fonksiyonları ve Gelişmiş Çapraz Zonlama (Cross-Zoning) Algoritmalarının Gazlı Söndürme Sistemlerinin Operasyonel Güvenilirliğine Etkisi
	19.3 Betül Yaygır Ahşap Malzemenin Taşıyıcı Sistem, Çatı-Cephe Sistemleri ve İç Mekan Kaplamasında Kullanımına Dair Mevzuat Gerekliliklerinin Türkiye Yangın Yönetmeliği ile NFPA Kod ve Standartları Kapsamında Değerlendirilmesi	**20.3 Muhammed Bilgehan Şahin** Endüstriyel Tesislerde Ekipman Yangın Koruması: NFPA 15 ve API RP 2030 Standartlarının Tasarım Yaklaşımına Etkileri
	19.4 Ario Ceccotti Üç Katlı Bir CLT (Çapraz Tabakalı Ahşap) Binanın Doğal Tam Ölçekli Yangın Testi	**20.4 Esat Ersoy** Kapalı Otoparklarda Elektrikli Taşıtlar için Yangından Korunma Önlemleri
12.40 - 15.30	ÖĞLE ARASI **SERGİ ALANI TÜM GÜN ZİYARETE AÇIK OLACAKTIR**	
15.30 - 17.10	**FORUM - BİNA YANGIN YÖNETMELİĞİ (BYY)**	
	Forum Yöneticisi: Kazım Beceren (TÜYAK)	
	Konuşmacılar: Murat BAYRAM (ÇŞİDB, Mesleki Hizmetler Daire Başkanlığı) Akif Sesli (TSE, Standart Hazırlama Merkezi Başkanlığı) İsmail Turanlı (MMO Ankara Şube, Yangın Eğitim Komisyonu) Gökhan Balık (TÜYAK)	

TÜYAK 2026 Uluslararası Yangın Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi
İstanbul Lütfi Kırdar Kongre ve Sergi Sarayı, Rumeli Salonu, 21-23 Ekim 2026

3. GÜN 23 Ekim 2026 CUMA	Salon-3	Salon-4
08.00 - 09.00	KAYIT	
09.00 - 10.40	**OTURUM-17** **Binaların Yangın Güvenliğinde Tasarım-Uygulama-İşletme Süreçleri**	**OTURUM-18** **Kaçış Yolları Tasarımı**
	Oturum Başkanı: Gürkan Kalafat (TESYÖN - Uluslararası Tesis Yöneticileri Derneği)	**Oturum Başkanı:** Füsun Demirel (Gazi Üniversitesi)
	17.1 Hüseyin Caner YILDIRIM Yangın Güvenliği Süreçlerinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Değerlendirilmesi	**18.1 İlker Hakan Terzioğlu** Yangında İnsan Davranışları
	17.2 Umut Korkmaz AVM'lerde Yangın Algılama ve Yangınla Mücadele Sistemleri Bakım, Onarım ve Kontrolleri	**18.2 Füsun Demirel, Zuhal Özçetin, Merve Görkem, Ayşe Mehlika Top, Berfin Doğan, Haticetülkübra Öçsoy, Esranur Ergül** Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in 3.Kısmının Taslak Metin ile Karşılaştırmalı Analizi
	17.3 Eren Akdeniz TÇM Ekipman Takip Sistemi: Rafineri Acil Durum ve Teknik Emniyet Ekipmanlarının Dijital Yönetimi	**18.3 Muammer Yaman, Miraç Muhammed Karaca** Bina İçi Kullanıcı Yükü ve Çıkış Yolu Gereksinimlerinin Değerlendirilmesi için Bir Kural Tabanlı BIM Yaklaşımı
		18.4 Meryem Turan, Kayhan Turan, David John Millington Mimari Form ve Yangın Güvenliğinin Bütünleşmesi: Görünmez Yangın ve Duman Perdeleri Yoluyla Açık Plan Kurgusunun Yeniden Yorumlanması
10.40 - 11.00	ARA	
11.00 - 12.40	**OTURUM-21** **Yangın Güvenlik Önlemlerinin Denetimi**	**OTURUM-22** **Yangın Algılama Sistemleri**
	Oturum Başkanı: Korhan Işıkel (TÜYAK)	**Oturum Başkanı:** İlker Özzorlu (TÜYAK)
	21.1 Birkan Güneş Yangın Yönetmeliği Uygulamalarında İdari Çelişkiler: İskan Sonrası Denetimler, Belediye Yorum Farklılıkları ve İmar-Yangın Uyum Sorunları	**22.1 Mehmet Balbaloğlu, Murat Efir** Yangın Algılama Sistemlerinin, Türkiye Yangın Yönetmeliği ile Avrupa, İngiltere ve ABD Mevzuatlarına göre değerlendirilmesi
	21.2 Mustafa Salih Korkmaz Yangın Güvenlik Uzmanı Modeli: Danimarka Uygulaması ve Türkiye İçin Gelişen Yapının Değerlendirilmesi	**22.2 Fulden Tosun** Yangın Algılama Sistemlerinde Dedektör Yerleşiminin Sistem Performansına Etkisi
	21.3 Ayşe Ütük, Leyla Müjde Kurt Bina Yangın Güvenliği Denetiminde ABD ve Türkiye Mevzuatının Karşılaştırılması: Risk Esaslı Bir Model Önerisi	**22.3 Özcan Uğurlu** Yangınların Erken Algılanmasında Birincil ve İkincil Duman Tespiti Yaklaşımı: En Hızlı Algılama Noktalarının ve Yöntemlerinin Belirlenmesi
		22.4 Ali Fuat Aydın Binaların Yangın Algılama ve Uyarma Sistemlerinde Yapay Zeka Destekli Erken Uyarı Algoritmaları ve Hatalı Alarmların Minimizasyonu
12.40 - 15.30	ÖĞLE ARASI **SERGİ ALANI TÜM GÜN ZİYARETE AÇIK OLACAKTIR**	
15.30 - 17.10	**FORUM**	

SPONSORLAR

YAKA KARTI SPONSORU

YCS TEKNİK
FIRE FIGHTING SYSTEMS

ÇANTA SPONSORU

NORM TEKNİK
Yangın Korunum Sistemleri

OTURUM SPONSORU

SIEMENS

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

EUROPEAN FIRE SPRINKLER NETWORK

İMSAD

POMSAD
TÜRK POMPA VE VANA SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

OHSAD

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI İSTANBUL ŞUBESİ

mükad
MÜHENDİS VE MİMAR KADINLAR DERNEĞİ

TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi

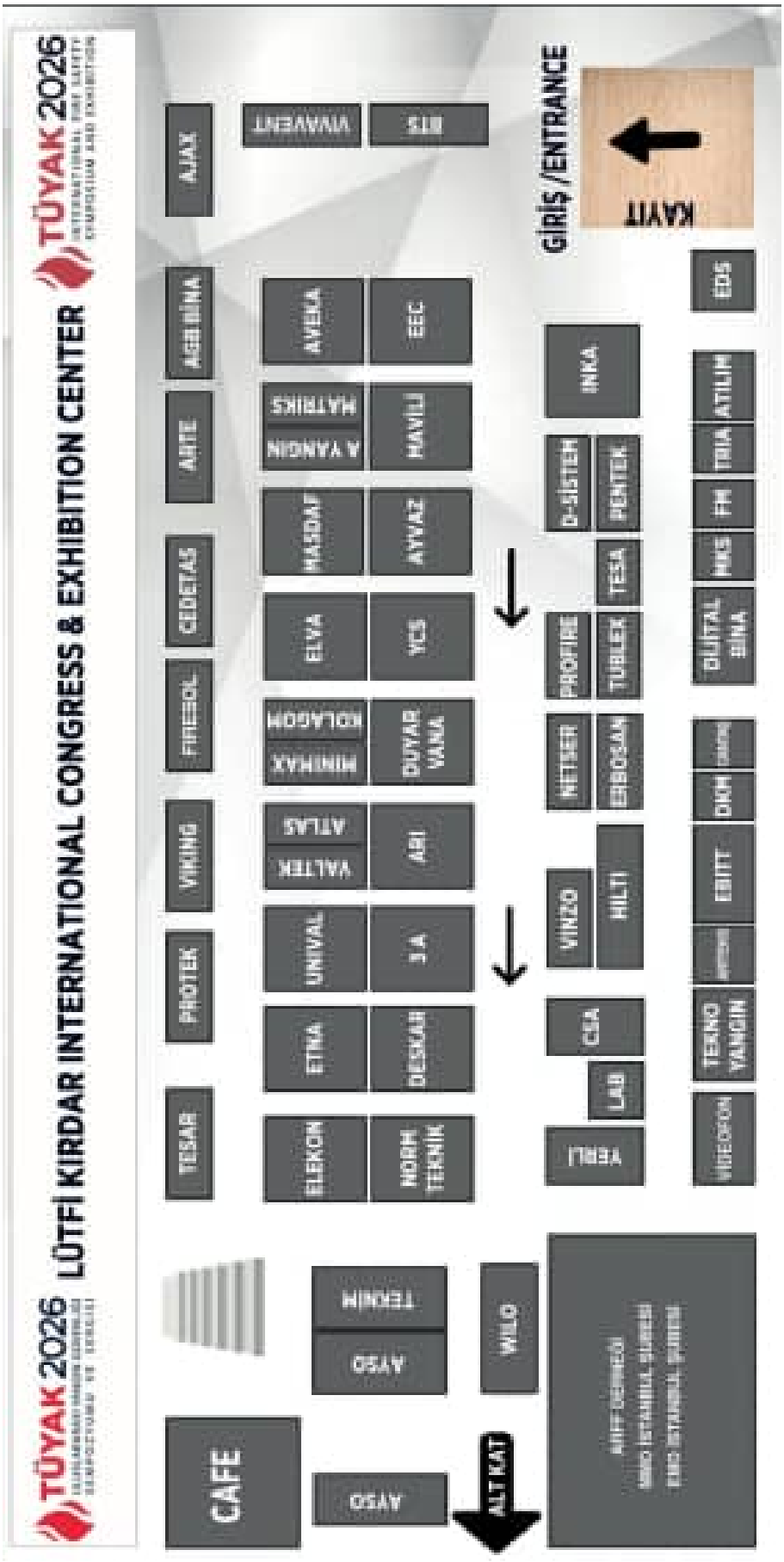
Tesisat Teknolojileri Eğitim ve Araştırma Derneği

IFSA

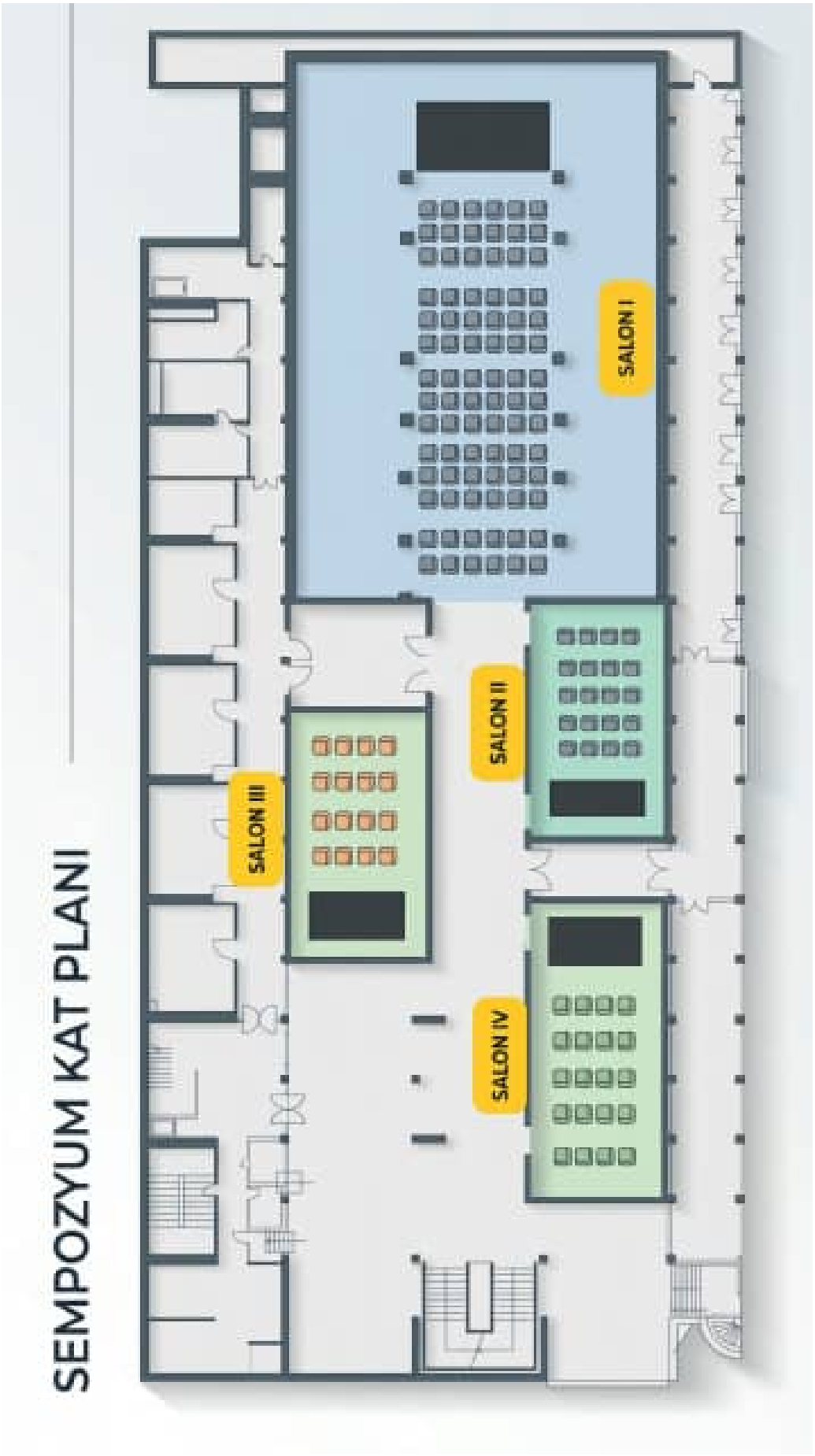
KATILIMCI FİRMALAR

3A	A YANGIN	AGB BINA	AJAX	ALP POMPA - ETNA
ARI YANGIN	ARITEKS	ARTE TEKONOLOJİ	ATILIM YANGIN	ATLAS TEKNİK
AVEKA	AYSO	BTS YANGIN	CEDETAŞ	CSA
ÇANTAŞ KİMYA	D SISTEM	DESKAR	DIGITAL BİNA KONTROL SİSTEMLERİ	DKM
DUYAR VANA	EBITT	EDS ELEKTRONİK	EEC ENTEGRE	ELEKON
ELVA	ERBOSAN	FIRESOL / E PLUS B	FM APROVALS	GIACOMINI UNIVAL
HACI AYVAZ	HILTI	INKA	KOLAGOM	LABMARKER
MASDAF	MATRIKS	MAVİLİ	MINIMAX	MKS KAPI SİSTEMLERİ
NETSER	NORM TEKNİK	PENTEK	PROFIRE	PROTEK
TEKNİM BİLGİ ELEKTRONİK	TEKNO YANGIN	TESAFIRE / TESAMED	TESAR	TRIA
TUBLEX	VALTEK	VIDEOFON	VIKING	VINZO
VIVAVENT	WILO	YCS TEKNİK	YERLİ İMALAT	

YERLEŞİM PLANLARI



YERLEŞİM PLANLARI



İÇİNDEKİLER

1. OTURUM **FARKLI ÜLKE YÖNETMELİKLERİNİN GELİŞİMİ VE YÖNETMELİK GENEL KAPSAMI DIŞINDAKİ UYGULAMALAR**		
1.1	Steve McGUIRK: From Grenfell to System Reform: The Reconstruction of Fire And Building Safety Regulation in England	1
1.2	Björn KARLSSON: Moving Toward A Performance-Based Building Code and Enhancing Fire Safety Engineering Education	15
1.3	Abdullah EL REFAI, Mustafa FARES: The Saudi Building Codes and the Various Methods for Achieving Fire Safety in Existing Buildings	27
1.4	Alexandr Sergeyevich GUDKOV: Dünyadaki Nükleer Santrallerde Yaşanan Kaza ve Yangınların Tarihi	35
2. OTURUM **YAĞMURLAMA SİSTEMİYLE İLGİLİ TÜRK-AVRUPA STANDARDINDAKİ GÜNCELLEMELER TS EN 12845 - SABİT YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMİ - OTOMATİK YAĞMURLAMA SİSTEMLERİ**		
2.1	Alan BRINSON: What has Changed in the Revision to EN 12845?	43
2.2	Karim KARZAZI: Design & Installation Of ESFR and CMSA Sprinkler Systems EN 12845-2	51
2.3	Matteo Alessandro BALENI: Earthquake Protection of Automatic Sprinkler Systems Under EN 12845-3:2024 Ensuring Fire Protection Reliability in Seismic Regions	59
2.4	Mark FESSENDEN: From Prescription to Performance: A Comparative Study of Automatic Sprinkler Design Across NFPA, EN 12845, and FM	67
3. OTURUM **ELEKTRİKLİ ARAÇ VE BATARYA YANGINLARI**		
3.1	Vesa Linja-AHO: Four Incidents Involving an Electric Vehicle Battery in Finland in 2025 - Lessons Learned	75
3.2	Murat KULA, Celil Ata SEVİNDİ, Egehan Salim GÜNGÖR: Elektrikli Araç Batarya Yangınları: Söndürme Yöntemleri ve Önleyici Tedbirler	85
3.3	Gökhan AKTAŞ, Halil İbrahim POLAT: Lityum İyon Bataryalı Araç ve Ekipmanlarda Yangın Korunum Konseptinde DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026 (L Sınıfı) Standartlarının Getirdikleri	95
3.4	Massud SAYAR, Antonio TERIO: Protection of Battery Energy Storage Systems and Other Li-Ion Battery Applications	109
4. OTURUM **BÜYÜK ÖLÇEKLİ YANGIN VAKALARI VE YANGIN SONRASI HASAR TESPİTİ**		
4.1	Sıla YILMAZ, Uğur DEMİR: Kır-Kent Arayüzü (WUI) Yangınlarının Erken Tahmini ve Risk Yönetiminde Kullanılan Yaklaşımlar: Türkiye için Bir Değerlendirme	113
4.2	Ahmet Tayfur KÜÇÜKTIĞLI, Ali GİRAY: Konya'da Büyük Çarşı Yangını (1867) ve Şehrin Fiziksel Dönüşümü Üzerindeki Etkileri	125
4.3	Nefise AKDAĞ, Uğur DEMİR: Yangın Sonrası Betonarme Yapıların Hasar Tespitine İlişkin Yönetmeliklerin Karşılaştırılması	131
5. OTURUM **YENİ TEKNOLOJİLER VE YAPAY ZEKA**		
5.1	Umut Barış YILMAZ: Binaların Yangınla Mücadele Sistemi Tasarımında Yapay Zekâ Kullanımı	147
5.2	Murat ÇALIŞ: Yapay Zekâ Destekli Yangın Algılama Sistemlerinin Yangın Güvenliğine Katkısı	161
5.3	Simge ŞALCIOĞLU, Ezgi KORKMAZ: Yangın Güvenliğinde Yapay Zekâ Destekli Değerlendirme Yaklaşımları	171
5.4	Adem ÇAKIR: Yangın Güvenliği Sistemlerinde Güvenli Uzaktan Hizmetler: EN 50710 Standart Analizi ve Cyber Resilience ACT (CRA) Çerçevesinde Siber Dayanıklılık	185
6. OTURUM **YAPI MALZEMELERİ**		
6.1	Tolga AYCI, Tunahan DEMİRBAŞ: Modern Cephe Sistemlerinde Yangın Güvenliği ve Yönetmelik Değerlendirmesi	197
6.2	Toros AĞABEYOĞLU, Bilal IĞDIR: Yüksek Binalarda Çatı Kaplama Malzemesi Yanıcılık Sınıfı	209
6.3	Mehmet OKAY: Yapı Malzemelerinin Yangın Güvenliği Değerlendirmesinde Duman Toksisitesinin Rolü	219
6.4	Ezgi KORKMAZ, Seda Serbest YENİDÜNYA, Hande APAK, Büşra Demircan İBİŞ, Z.Gülşah KOÇ, Raşit Eren CANGÜR, Gökçe TUNA, Nabi YÜZER, Cem Bülent ÜSTÜNDAĞ, Muhammed MARAŞLI: Biyomalzeme Tabanlı Yapı Ürünleri ve Yangın	231

7. OTURUM **KÖPÜKLÜ SÖNDÜRME SİSTEMİ UYGULAMALARI**		
7.1	Gerard VISSER: Fluorine-Free Foam Transition in Sprinkler Systems: A Challenging Change or Simply a Matter of Getting It Right?	249
7.2	Dursun Kuzey ŞAHİN: PFAS İçeren Yangın Söndürme Köpüklerinden Yeni Nesil Flor İçermeyen Köpüklere Geçiş Nasıl Olmalı?	253
7.3	Yusuf ARSLAN: Yangın Korunum Sistemleri Seçiminde Yasal Çevre Düzenlemeleri ve Sürdürülebilirlik Hedeflerinin Etkisi	275
7.4	Kübra ÖZCAN: Yeni Yangın Yönetmeliği Kapsamında Çevre Dostu Yangın Söndürme Teknolojilerine Geçiş: Sürdürülebilir ve Yüksek Performanslı Yaklaşımlar	287
8. OTURUM **YANGINA MÜDAHALE YÖNTEMLERİ VE BİNA KAYNAKLI ETKENLER**		
8.1	Mehmet EKİM: Mimari Tasarımda Yangın ve Can Güvenliği; Kaçış Yolları ve Yangın Merdivenleri Tasarımı	295
8.2	Latif ERDOĞAN, İbrahim NAVRUZ, Yusuf ÖZEL: Yangın Gelişim Evrelerinin Müdahale Stratejileri Açısından Analizi	311
8.3	Şemsettin PARLAK, Ramazan AKTEPE: Yangın Ortamında Hayatta Kalma Analizi: İç ve Dış Müdahale Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Dinamikleri	341
8.4	Salih PALACIOĞLU, Enes İlhan AY, Selçuk ŞENAY, Hakan Serhad SOYHAN: Yapısal ve Pasif Yangın Güvenliği Tedbirlerinin İtfaiyeci Emniyeti Açısından Değerlendirilmesi	363
9. OTURUM **RİSK YÖNETİMİ**		
9.1	Burkay KARADAYI, Etkin HASGÜL: Sabit Kıymet Risk Yönetiminde Risk Minimizasyonunun Yangın Sigortacılığında Finansal Katkıları Üzerine Bir Çalışma	377
9.2	Hatice Canan GÜNGÖR: Akıllı Şehirlerde Yangın Risk Yönetimi ve CBS Tabanlı Yaklaşımlar	401
9.3	Ergin GENÇER: Kritik Enerji Altyapılarında Bütünleşik Yangın Güvenliği: Mevzuat Adaptasyonundan Dijital İkiz Tabanlı Risk Yönetimine Stratejik Yaklaşım	409
9.4	Canberk İZCİ: Evaluation of Next Generation Automatic Fire Suppression Systems from the Perspective of Reliability and Standards	419
10. OTURUM **MEVCUT YAPILAR VE TARİHİ YAPILAR**		
10.1	Betül YILDIZ, Mustafa ÖZGÜNLER: Tarihi Yapılarda Yangın Güvenliğinin Koruma İlkeleri Ekseninde Değerlendirilmesi	429
10.2	Ayşe Selin TÜRKMEN AGUŞ, Semih Göksel YILDIRIM: Mevcut ve Tarihi Yapılarda Yangın Güvenliği Yönetiminde Mevzuat Eksiklikleri ve Uygulama Zorlukları	437
10.3	Esma BİREKUL, Nuri SERTESER: Tarihi Binalar için Yangın Kompartımanı Tasarımının Performansa Dayalı Yaklaşımlar Açısından Değerlendirilmesi	445
10.4	Atakan KİREMİTÇİ: Bir Üniversite Binasının Yangın Önlemleri Açısından Mevzuat Kapsamında İncelenmesi	455
11. OTURUM **MUTFAK YANGINLARI**		
11.1	İrfan ARGUZ, Aliye AYAN: Mutfak Yangınları ile İlgili Yönetmeliklerin Karşılaştırılması	485
11.2	İbrahim KARAKAŞ: NFPA 96 Kapsamında Ticari Mutfak Havalandırma Sistemlerinde Yangın Güvenliği Gereklilikleri	493
11.3	Muammer AKGÜN, Barbaros BATUR: Alışveriş Merkezlerindeki Yemek Katlarında Yangın Riskinin Azaltılması Uygulamaları	511
12. OTURUM **YANGINA MÜDAHALEYİ ETKİLEYEN UNSURLAR VE İTFAİYECİLİK**		
12.1	Hasan İŞCİ, Zeydin SARPDAĞ, Ahmet Mert AYDIN, Muhammed Fatih CELEP: Yangın Yükü Hesaplamalarının Yapısal Yangın Güvenliği Açısından Önemi ve Uygulama Yöntemleri	529
12.2	Mehmet Altuğ KÜÇÜKOSMANOĞLU: Yangın Güvenliği Mevzuatının Mesleki Eğitime Yansımaları: Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Önlisans Programı Örneği	547
12.3	Serkan KORKMAZ: NFPA 1660 Çerçevesinde Bütünleşik Acil Durum Yönetimi: Acil Müdahale Ekiplerinin Hazırlık, Eğitim, Koordinasyon ve Operasyonel Yeterliliği	557
12.4	Gizem Ezgi SEREYİM: Yangınlarda Altın Dakika: Aktif Söndürme Sistemlerinin Hayati Rolü	567

13. OTURUM **DUMAN YAYILIMININ ÖNLENMESİ VE GELİŞMİŞ TASARIM ARAÇLARI**		
13.1	A. Gamze SAYGILI: Dumanın Sağlık Üzerine Etkileri ve Duman Tahliye Sistemlerinin Önemi	573
13.2	Evren UYGUR: Yangın Damperleri, Duman Kontrol Damperleri ve Yangın/ Duman Damperlerinin Tasarım, Uygulama ve İşletim Şartları ve Gereklilikleri	581
13.3	Ali Serdar GÜLTEK: Aspirasyon Sistemlerinde Cfd Analizi İle Yangın Yayılımının Belirlenmesi	587
13.4	Okan TOKER: Duman Kontrol Mühendislik Hesap Yazılımı ile Duman Kontrolü ve Basınçlandırma Sistemlerinin Uluslararası Standartlara Göre Analizi	597
14. OTURUM **TEHLİKELİ MADDELERİN KULLANIMI, DEPOLANMASI VE TAŞINMASI**		
14.1	Taner KABOĞLU: Yanıcı ve Parlayıcı Sıvıların Bulundurulduğu Endüstriyel Tesisler ve Depo Binalarında Alınacak Yangın Tedbirlerine Uluslararası Standartlar Çerçevesinde Bakış	637
14.2	Mehmet Ferit PEKEROĞLU, Nurcan PEKEROĞLU: Patlayıcı Atmosferlere Sahip Büyük Endüstriyel Tesislerde Elektriksel İş Kazası ve Yangın Sonuçlarının Değerlendirilmesi	649
14.3	Kübra ERDEN: Rafinerilerde Yangın Risklerinin Yönetiminde Proses Emniyeti Yaklaşımı: Hazop'tan Operasyona Entegre Bir Model	667
14.4	Ahmet DEMİR: ADR Mevzuatı Kapsamında Yanıcı Kimyasal Lojistik Depolarında Yangın Güvenliği	675
15. OTURUM **YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNDE ÖZEL UYGULAMALAR**		
15.1	Avinash VIRALE, Anja RÄTZKE, Felix HECK, Uwe KEPPLER, Bülent TOKSOZ: Experimental Evaluation of Fire Detection on Different Photovoltaic Installations Using Distributed Fibre Optic Linear Heat Detection	687
15.2	Deniz Arzu ARAZ: Batarya Enerji Depolama Sistemlerinde (BESS) Erken Algılama ve Söndürme Stratejileri: Saha Testleri ve Çözüm Analizi	701
15.3	İlker TOPUZ: EN54-25 Kapsamında Kablosuz Yangın Algılama Sistemlerinin Güvenilirliği: Teknik Gerçekler ve Türkiye'de Kabul Bariyerlerinin Analizi	711
15.4	Rene JARVERS: Planning Requirements for Audible and Visual Fire Alarm Systems According to EN 54	733
16. OTURUM **YANGIN POMPALARI İLE YAĞMURLAMA SİSTEMİNDE ÇEŞİTLİ UYGULAMA DETAYLARI**		
16.1	Serdar KINIK: TS EN 17451 ve NFPA20'nin Karşılaştırmalı İncelenmesi ve Yangın Yönetmeliğinde Kullanımı	739
16.2	Tülin ERDOĞAN: Sprinkler Sistemlerinde Engel Kaynaklı Koruma Zafiyetleri ve Engel Altı Sprinkler Yerleşim Kuralları	757
16.3	Oğuzhan Ahmet KARA: Türkiye'de Yangın Güvenliğinde Sismik Koruma: Mevzuat, Sertifikasyon ve Uygulamalar Açısından İncelenmesi	777
16.4	Esra ERASLAN: Yangın Söndürme Sistemlerinde Sismik Askılama Tasarımı ve Gereklilikleri	813
17. OTURUM **BİNA VE TESİSLERİN YANGIN GÜVENLİĞİNDE TASARIM-UYGULAMA İŞLETME SÜREÇLERİ**		
17.1	Hüseyin Caner YILDIRIM: Yangın Güvenliği Süreçlerinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Değerlendirilmesi	821
17.2	Umut KORKMAZ: AVM'lerde Yangın Algılama ve Yangınla Mücadele Sistemleri Bakım, Onarım ve Kontrolleri	831
17.3	Eren AKDENİZ: TÇM Ekipman Takip Sistemi: Rafineri Acil Durum ve Teknik Emniyet Ekipmanlarının Dijital Yönetimi	837
OTURUM-18 **Kaçış Yolları Tasarımı**		
18.1	İlker Hakan TERZİOĞLU: Yangın Sırasında İnsan Davranışları	843
18.2	Füsun DEMİREL, Zuhal ÖZÇETİN, Merve GÖRKEM, Ayşe Mehlika TOP, Berfin DOĞAN, Haticetülkübra ÖÇSOY, Esranur ERGÜL: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 3. Kısım Hükümlerinin Taslak Metin ile Karşılaştırmalı Analizi	851
18.3	Muammer YAMAN, Miraç Muhammed KARACA: Bina İçi Kullanıcı Yükü ve Çıkış Yolu Gereksinimlerinin Değerlendirilmesi İçin Bir Kural Tabanlı BIM Yaklaşımı	871
18.4	Meryem TURAN, Kayhan TURAN, David John MILLINGTON: Mimari Form ve Yangın Güvenliğinin Bütünleştirilmesi: Görünmez Yangın ve Duman Perdeleri Aracılığıyla Açık Plan Kurgusunun Yeniden Yorumlanması	887

OTURUM-19 **AHŞAP YAPI MALZEMELERİ**		
19.1	Elif KAYNAK, Oisik DAS: Yapısal Uygulamalarda Ahşabın Yangın Performansının Gelıştırılmesı: Güncel Zorluklar ve Geleceğe Yönelık Yaklaşımlar	901
19.2	Coşkun YARAR: Effect of Natural Ageing on the Reaction-To-Fire Performance of Fire-Retardant-Treated Timber	915
19.3	Betül Yaygır: Ahşap Malzemenin Taşıyıcı Sistem, Çatı-Cephe Sistemleri ve İç Mekan Kaplamasında Kullanımına Dair Mevzuat Gerekliliklerinin Türkiye Yangın Yönetmeliği İle NFPA Kod ve Standartları Kapsamında Değerlendirilmesi	923
19.4	Ario CECCOTTI: Natural Full-Scale Fire Test on a Three-Storey CLT Building	937
OTURUM-20 **SÖNDÜRME SİSTEMLERİNDE ÖZEL UYGULAMALAR**		
20.1	Selçuk ŞANLI: Gazlı Yangın Söndürme Sistemlerinin Karakteristik Özellikleri ve Sistem Seçim Kriterleri	947
20.2	Vatan ŞENOL: EN 12094-1 Opsiyonel Fonksiyonları ve Gelişmiş Çapraz Zonlama (Cross-Zoning) Algoritmalarının Gazlı Söndürme Sistemlerinin Operasyonel Güvenilirliğine Etkisi	957
20.3	Muhammed Bilgehan ŞAHİN: Endüstriyel Tesislerde Ekipman Yangın Koruması: NFPA 15 ve API RP 2030 Standartlarının Tasarım Yaklaşımına Etkileri	969
20.4	Esat ERSOY: Kapalı Otoparklarda Elektrikli Taşıtlar için Yangından Korunma Önlemleri	977
OTURUM-21 **YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN DENETİMİ**		
21.1	Birkan GÜNEŞ: Yangın Yönetmeliği Uygulamalarında İdari Çelişkiler: İskan Sonrası Denetimler, Belediye Yorum Farklılıkları ve İmar-Yangın Uyum Sorunları	983
21.2	Mustafa Salih KORKMAZ: Yangın Güvenliğinde Yetkilendirilmiş Uzman Modeli: Danimarka Uygulaması ve Türkiye İçin Gelişen Yapının Değerlendirilmesi	993
21.3	Ayşe ÜTÜK, Leyla Müjde KURT: Bina Yangın Güvenliği Denetiminde ABD ve Türkiye Mevzuatının Karşılaştırılması: Risk Esaslı Bir Model Önerisi	1005
OTURUM-22 **YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİ**		
22.1	Mehmet BALBALOĞLU, Murat EFİR: Yangın Algılama Sistemlerinin Türkiye Yangın Yönetmeliği ile Avrupa, İngiltere ve ABD Mevzuatlarına Göre Değerlendirilmesi	1025
22.2	Fulden TOSUN: Yangın Algılama Sistemlerinde Dedektör Yerleşiminin Sistem Performansına Etkisi	1039
22.3	Özcan UĞURLU: Yangınların Erken Algılanmasında Birincil ve İkincil Duman Tespiti Yaklaşımı: En Hızlı Algılama Noktalarının ve Yöntemlerinin Belirlenmesi	1051
22.4	Ali Fuat AYDIN: Binaların Yangın Algılama ve Uyarma Sistemlerinde Yapay Zeka Destekli Erken Uyarı Algoritmaları ve Hatalı Alarmların Minimizasyonu	1067
Sempozyumda sunum için yer verilemeyip Bildiriler Kitabı'nda yayınlanması kabul edilen ilave bildiriler		
23.1	Abdurrahman İNCE: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin Yeni Değişiklik Taslağında Zorunlu Periyodik Denetimler	1075
23.2	Aliye AYAN: Konut Yapılarında Yanıcı Yük Yönetimi ve Yangın Riskinin Azaltılması	1079
23.3	İlknur Bekem KARA, Cuma KARA: Yusufeli (Artvin) Kırsal Yerleşimlerinde Meydana Gelen Köy Yangınları: 2020-2025 Döneminin İtfaiye Raporları Üzerinden Değerlendirilmesi	1087
23.4	İsmail ALTINDAĞ: Sonradan Ekilecek Yapısal Filizlerin Yangın Durumunda Tasarımı	1103
23.5	İsmail Hilmi KESKİN, Hakan Serhad SOYHAN: Atriumlu Üniversite Binalarında Performansa Dayalı Yangın Güvenliği Tasarımı: İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi Örneği	1113
23.6	İsmail TURANLI: Yangından Korunmada Ulusal Eğitim ve Sertifikasyon Modeli: Yangından Korunma El Kitabı, Eğitim Programı ve Sertifikasyon Sisteminin Oluşturulması	1137
23.7	Kayhan TURAN, Meryem TURAN: Spandrel Bölgesini Yeniden Yorumlamak: Yüksek Katlı Binalarda Kattan Tavana Şeffaflığın Sağlanmasında Cephe Çevresi Yangın Bariyerlerinin Rolü	1143

FROM GRENFELL TO SYSTEM REFORM: THE RECONSTRUCTION OF FIRE AND BUILDING SAFETY REGULATION IN ENGLAND

Professor Steve McGUIRK CBE,
QFSM, DL, MA, BA (HONS), BSc, FIFireE, FIFSM

ABSTRACT

The Grenfell Tower fire on 14 June 2017, which killed 72 people, exposed not just failures in cladding, design and emergency response, but a fragmented building-safety system reliant on professional judgement, documentary assurance and weakly connected regulators.

This paper - and conference session - examines the political and regulatory development of building and fire safety in England and the reforms since Grenfell. It argues that the disaster was not a sudden technical failure but the result of decades of decisions and omissions.

A/the shift from prescriptive to performance-based regulation encouraged flexibility and innovation, but depended on clear guidance, competence, reliable testing, accurate information and effective enforcement. As these safeguards weakened, paperwork could demonstrate compliance without proving that a building was safe.

The paper reviews the Dame Judith Hackitt Review, the Grenfell Tower Inquiry, the Fire Safety Act 2021, the Fire Safety (England) Regulations 2022 and the Building Safety Act 2022.

It considers the introduction of the Building Safety Regulator, new dutyholder and accountable-person regimes, the Golden Thread, resident engagement, Building-Control reform and changes to construction-product and professional regulation.

England has built a stronger regulatory architecture, but reform remains incomplete. The willing to challenge apparent compliance where safety is uncertain.

Key words: Grenfell Tower, building safety, fire regulation, building control, construction products, systemic failure, Building Safety Regulator, Single Construction Regulator

SUMMARY

Grenfell was the catastrophic expression of a much wider system failure. Over several decades, England moved from detailed prescriptive building requirements towards a performance-based regime founded upon functional regulations, official guidance, professional judgement and market delivery. That change was not inherently unsafe, but it depended upon competence, reliable evidence, clear accountability and effective regulatory challenge.

Grenfell demonstrated what can happen when those supporting conditions are weak.

The refurbishment incorporated combustible materials, uncertain product evidence, fragmented design responsibilities and inadequate regulatory oversight. Residents' concerns were not treated as valuable safety intelligence, while the emergency response relied upon assumptions about the building's compartmentation that did not survive the fire.

Reforms since 2017 have strengthened accountability, information management, building control, occupied-building regulation and resident engagement. Nevertheless, the new arrangements have largely been added to the existing system, leaving important responsibilities divided between different laws, regulators and professions.

The proposed Single Construction Regulator marks the next stage: a move from stronger individual controls towards integrated stewardship of the building safety system.

Its success will depend not simply upon organisational consolidation, but upon whether it can connect information, recognise emerging risks, exercise credible enforcement and ensure that no safety-critical issue is left unseen between institutional boundaries.

1. INTRODUCTION

Major disasters often become defining moments in public policy. They expose hazards that had previously been misunderstood, tolerated or concealed within apparently normal systems. They can also reveal a dangerous gap between formal compliance and actual safety.

The fire at Grenfell Tower is rightly described as a tragedy. Yet that description alone is insufficient. A tragedy may suggest an unpredictable or unavoidable event. The evidence considered by the Grenfell Tower Inquiry showed that the conditions leading to the fire had developed over many years and involved government, regulators, the construction industry, product manufacturers, building control, housing management and the London Fire Brigade [1].

The fire began in an ordinary domestic appliance. However, combustible materials within the external wall enabled flames to spread rapidly around the 24-storey residential building. The failure of the building's fire-resisting construction then allowed fire and smoke to penetrate areas in which residents had been expected to remain safe.

The immediate technical causes were important, but they were only part of the explanation. Grenfell also revealed weaknesses in regulation, testing, certification, procurement, design, construction, professional competence, information management, resident engagement and emergency preparedness.

Historian Shane Ewen describes Grenfell as the result *of an accumulation of decisions and non-decision*s rather than a sudden "bolt from the blue" [2]. He places the fire within a longer history of changing regulation, reduced state intervention and repeated failures to learn from earlier fatal fires.

This wider interpretation gives Grenfell international importance. Many countries face the simultaneous pressures of urbanisation, high-rise development, energy efficiency, modern methods of construction, new materials, housing demand and pressure to reduce delays and regulatory burdens.

The purpose of this paper is not to offer England's post-Grenfell system as a model for Turkey or any other country to copy. England is still implementing and revising that system. Rather, the paper offers an account of how a mature regulatory framework moved towards failure, how that failure was exposed and how government and industry have attempted to reconstruct the system.

2. THE POLITICAL AND REGULATORY ORIGINS OF GRENFELL

Understanding Grenfell requires a broader perspective than the immediate technical circumstances of the fire. The failures identified by the Inquiry developed within a political and regulatory environment that had evolved over several decades.
For much of the twentieth century, building regulation in England became progressively more prescriptive. Detailed provisions reflected accumulated experience of fire, structural collapse and unsafe housing. Prescription was not simply bureaucratic habit. Fire is an unforgiving hazard. Once a building has been designed and constructed, many features determining its fire performance are physically embedded and difficult to correct.

Prescriptive rules reduced discretion, established recognisable boundaries and provided enforcement bodies with a clearer basis upon which to intervene. The system was imperfect, but most participants could understand what was required and what was prohibited.

The partial collapse of a high-rise building - Ronan Point - in 1968 demonstrated the value of regulatory learning. A domestic gas explosion caused the progressive collapse of part of the 22-storey residential block, killing five people. The investigation produced changes to structural requirements and a national programme for strengthening vulnerable system-built blocks. The concrete structure of Grenfell Tower remained standing during the 2017 fire partly because of the more robust structural requirements introduced following Ronan Point [2].

From the 1980s onwards, however, governments of different political persuasions placed increasing emphasis upon economic flexibility, competition, proportionality and the reduction of regulatory burdens. Regulation came to be considered not only as a means of protecting the public, but also as a potential constraint upon innovation and economic growth.

The Building Regulations introduced in 1985 represented a significant turning point.

Detailed provisions were replaced by a much shorter system of functional requirements. Rather than prescribing particular materials or methods, the regulations stated the outcomes buildings were expected to achieve [3].

This change was not inherently unreasonable or flawed. Performance-based regulation can encourage innovation, accommodate unusual buildings and permit proportionate solutions. Modern construction cannot always be governed effectively through rigid rules developed for an earlier technological age.

However, the change transferred responsibility and effectiveness of the new system depended increasingly upon clear and technically sound guidance; competent designers and contractors; reliable testing and product information; effective building control arrangements; adequately resourced regulators; and professionals willing and able to challenge apparently compliant but unsafe solutions.

What appeared to be simplification was therefore a fundamental structural change in governance.

Interpretation moved from detailed law into *Approved Documents*, standards, test reports, certificates and professional judgement. Your underlying historical analysis describes this as a shift in which safety was increasingly inferred from guidance and documentation rather than secured directly through the clarity of the rules.

Performance-based regulation does not fail merely because it permits choice. It becomes unstable when the institutional safeguards supporting that choice are weak.

3. WHEN GUIDANCE BECAME THE SYSTEM

Approved Documents (ADs) were intended to provide practical guidance on ways of satisfying the functional requirements of the Building Regulations. **They were not themselves the law, nor did they exclude alternative methods of compliance.**

In practice, Approved Document B (the relevant AD for fire safety) became the principal working expression of fire safety regulation. Designers, contractors, clients and building-control bodies understandably sought the certainty of following recognised government guidance. Departures required additional expertise, evidence and justification.

The system became legally performance-based but operationally guidance-dependent.

Peter Apps', a journalist in the UK, has dedicated many years to conducting a detailed examination of the regulatory paper trail and demonstrates this problem particularly clearly in relation to external walls.

Different passages of Approved Document B addressed external surfaces, insulation products and alternative compliance through large-scale testing. Their wording and relationship allowed competing interpretations [4]. A product could satisfy a surface spread-of-flame classification while containing a highly combustible core. Insulation materials were addressed through different provisions. The fire performance of the complete external wall assembly could be obscured by concentrating upon separate products, classifications and certificates.

Modern façade systems involve interactions between rainscreen panels, insulation, cavities, membranes, windows, fixings, cavity barriers and the original wall. A certificate relating to one component cannot demonstrate the performance of every combination in which that component might be used. Nor does a small-scale product test necessarily predict the behaviour of a complete façade exposed to flames emerging from a broken window.

At the same time, the building control function/ responsibility was opened increasingly to competition.

Functions that had previously been undertaken mainly by local authorities/ local government could be performed by private approved inspectors; and while competition did not inevitably create unsafe decisions, it nevertheless changed the relationship between regulator and applicant. It also introduced the possibility that commercial pressures could weaken regulatory independence or challenge.
The Government's later Single Construction Regulator prospectus acknowledged the Inquiry's concerns about commercial interests, possible conflicts with inspectors' public-interest duties and inconsistency within building control.

Construction-product assurance developed similar complexity.

Testing, classification, certification and expert assessment were intended to provide an evidence-based route for innovation. In practice, uncertainty could arise over:

- what had actually been tested;
- whether the sample was representative;
- which combinations of products had been assessed;
- whether results were being used beyond their legitimate scope;
- whether marketing accurately described performance; and
- whether the installed system matched the tested arrangement.

Documentation is indispensable to safety. However, documentation is not safety itself. A building may possess approvals, certificates and completed forms while containing serious physical hazards.

The real test is not whether every document exists. It is whether the finished building will protect its occupants when something goes wrong.

4. WARNINGS AND THE FAILURE OF INSTITUTIONAL MEMORY

Grenfell was preceded by warnings from fires, research, professional bodies and residents.

The United Kingdom had experienced serious fires involving combustible external walls before 2017. Concerns had also been raised repeatedly about compartmentation, fire doors, evacuation, firefighting access and the management of high-rise residential buildings.

The 1999 fire at Garnock Court in Scotland involved significant external fire spread. The 2009 fire at Lakanal House in London killed six residents and the subsequent coroner's recommendations addressed building guidance, information for residents and the need to reconsider operational advice when compartmentation failed. Important matters remained unresolved when Grenfell occurred eight years later.

The deeper problem was not simply a lack of knowledge. Knowledge was dispersed across different institutions.

One organisation might identify a product concern. Another might investigate a fire. Residents might report defects. A professional body might question statutory guidance. A regulator might discover poor workmanship. Each warning could appear insufficient when considered alone. No institution possessed both the complete picture and an undisputed responsibility to act upon it.
Ewen's historical analysis identifies a recurring failure to retain the experience of multiple-fatality fires. He argues that institutional indifference and repeated "buck passing" prevented lasting change [2].

This is both a moral and a regulatory design issue.

An effective safety system must possess institutional memory. It must connect intelligence from fires, inspections, research, product investigations, enforcement and residents. It must identify patterns across events that may initially appear unrelated. It must also give someone the authority to ask what that combined evidence means for buildings nationally.
The absence of such integrated stewardship was one of the conditions that enabled Grenfell.

5. GRENFELL AS A SYSTEM FAILURE

The term "system failure" should not be used to obscure individual or organisational responsibility. Decisions were made by identifiable people and bodies, and the Grenfell Tower Inquiry examined those decisions in detail.

Nevertheless, the fire cannot be explained adequately by identifying one product, one paragraph of guidance or one failed organisation.

Many individual decisions could be presented as defensible within some part of the prevailing system. Collectively, however, they created catastrophic risk; each decision could appear explicable within the system's logic, while the combined result was disaster.

This distinction between individual compliance and collective safety is also fundamental.

A project may employ qualified professionals, use approved products, obtain building-control approval and produce a fire strategy. Yet it may still be unsafe if responsibilities and information do not connect, because safety is a property of the completed system. It cannot be guaranteed by dividing work into contractual packages and assuming that the sum of separate assurances will produce a safe building.

Grenfell also demonstrated the relationship between building design and emergency response. "Stay put" - defend in place - strategies in purpose-built residential blocks rely upon compartmentation preventing uncontrolled fire and smoke spread. Once the building failed to behave as assumed, the operational strategy was placed under extraordinary pressure.

Building regulation, occupied-building management and firefighting cannot therefore be treated as detached disciplines. A fire strategy represents assumptions about how a building, its residents, its management and the emergency services will perform under severe conditions.

6. THE HACKITT REVIEW AND THE BEGINNING OF RECONSTRUCTION

Following Grenfell, the Government commissioned Dame Judith Hackitt (a former regulator of health and safety law) to conduct an Independent Review of Building Regulations and Fire Safety. The Review concluded that the existing system was not fit for purpose [5]. It identified fragmented responsibility, unclear accountability, variable competence, ineffective enforcement, weak information management and a culture focused excessively upon demonstrating minimum compliance.

Hackitt did not recommend abandoning performance-based regulation. Instead, she sought to create the governance conditions necessary for it to operate safely.

Her principal proposals included:

- **clearly identified dutyholders during design and construction;**
- **stronger regulatory oversight at defined gateway stages;**
- **continuing responsibility during occupation;**
- **better information throughout the building lifecycle (the *Golden Thread*);**
- **improved professional competence;**
- **stronger enforcement; and**
- **a more influential role for residents.**

The "*Golden Thread*" became one of the Review's most widely recognised concepts.

It is sometimes described merely as a digital building record. Its real purpose is broader: safety-critical information must be accurate, intelligible, accessible, current and transferred effectively throughout the life of the building. Digitising poor records does not create good information, it merely makes inaccurate information easier to distribute.

Hackitt's emphasis on culture was equally significant.

No regulatory framework can prescribe every decision involved in the design and construction of a complex building. A performance-based system therefore depends upon the behaviour of professionals and organisations. They must ask not only whether a proposal can be approved, but whether it is safe and what evidence supports that conclusion.

The reform challenge was consequently both legal and behavioural.

7. THE POST-GRENFELL REGULATORY FRAMEWORK

7.1 Fire Safety Act 2021

The Fire Safety Act 2021 clarified that the Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 applies to the structure and external walls of multi-occupied residential buildings, including cladding, balconies, windows and flat entrance doors [6].

This was important because it addressed uncertainty about the boundary between the regulation of construction and the management of occupied buildings.
That boundary remains difficult. Fire safety legislation principally governs buildings in use, while building regulations govern design and construction. Building owners may inherit risks created years earlier by designers, contractors, product manufacturers or building-control decisions.

7.2 Fire Safety (England) Regulations 2022

The Fire Safety (England) Regulations 2022 implemented many of the recommendations arising from Phase 1 of the Grenfell Tower Inquiry [7].

The requirements include:

- electronic floor and building plans;
- information about external wall systems;
- secure information boxes;
- wayfinding signage;
- checks of firefighting lifts and equipment;
- inspection of fire doors; and
- improved fire-safety information for residents.

These measures respond to a practical lesson from Grenfell: information must be accessible to those who need it when they need it. Records held in an office or inaccessible computer system are of little operational value during a rapidly developing fire.

7.3 Building Safety Act 2022

The Building Safety Act 2022 is the centrepiece of the post-Grenfell framework [8]. It established the Building Safety Regulator and introduced new controls covering design, construction and occupation, with particularly stringent requirements for higher-risk buildings.

The Act created clearer dutyholder responsibilities for clients, principal designers and principal contractors. These arrangements draw upon established health and safety principles, placing responsibility upon those who commission, design and undertake the work rather than relying solely upon the regulator to identify every defect. For occupied higher-risk buildings, accountable persons and principal accountable persons must assess and manage building-safety risks, maintain information, engage residents and demonstrate how risks are controlled.

The significance of the Act lies not merely in additional technical requirements. It regulates the governance of safety:

- Who understands the risk?
- Who owns it?
- What evidence exists?
- Who must act?
- How can the regulator intervene?

7.4 The gateway system

The gateway regime introduces regulatory scrutiny at critical stages in the development of higher-risk buildings. Safety-critical design decisions should not be postponed merely because a commercial programme requires construction to proceed.

This marks an important change from practices in which details could be developed during construction or resolved through later substitutions and variations.

However, gateways also expose the practical demands of reform. Stronger scrutiny requires mature designs, competent applicants, experienced regulators and efficient processes. Delays may reflect incomplete applications, uncertainty across industry or insufficient regulatory capacity. A robust law without the people and systems required to administer it will not achieve its intended result.

8. PRODUCTS, PROFESSIONS AND REGULATORY CAPABILITY

Grenfell exposed serious weaknesses in construction-product regulation and product representation.

Modern buildings are assembled through complex supply chains. A designer may rely upon a manufacturer's literature. A main contractor may substitute a product. A specialist subcontractor may interpret installation requirements. The completed system may differ materially from the arrangement originally tested or specified.

Effective product regulation must therefore establish more than whether an isolated product passed a test. It must determine:

- whether the testing method was appropriate;
- whether the test sample was representative;
- whether the result was described accurately;
- whether the product was suitable for its intended use;
- whether the installed combination corresponded with the evidence; and
- whether foreseeable misuse or variation had been considered.

Professional competence is similarly more than possession of a qualification. It combines knowledge, skill, experience and professional behaviour relevant to the work actually undertaken.

Performance-based regulation requires people capable of interpreting evidence, recognising the limitations of guidance and identifying interactions between systems. It also requires regulators with sufficient technical authority to challenge experienced commercial organisations.

Reform therefore depends upon a wider national quality infrastructure: standards bodies, testing laboratories, accreditation organisations, professional institutions, research capability and regulatory expertise. Legislation cannot substitute for laboratory capacity, engineering knowledge or credible enforcement and the lesson is straightforward: **regulatory ambition must be matched by institutional capability.**

9. THE BUILDING SAFETY REGULATOR AND LORD ANDREW ROE

A new Building Safety Regulator was originally established within the Health and Safety Executive and has subsequently developed into a dedicated organisation.

Lord Andrew Roe is a key figure here and provides an unusually direct connection between Grenfell and the present regulatory system.

Lord Roe joined the London Fire Brigade as a firefighter in 2002, served at every rank and became London Fire Commissioner in 2020. In fact, he was the Incident Commander of the London Fire Brigade's response and also led the Brigade through extensive reform following the Grenfell Tower Inquiry. On retiring in July

2025, he was appointed Chair of the Building Safety Regulator and became a member of the House of Lords in January 2026.

The Building Safety Regulator Board was formally established in January 2026 under his chairmanship. The regulator's current functions include overseeing higher-risk buildings, monitoring building-control bodies and supporting competence across the built environment.

Lord Roe's progression from operational firefighting, through institutional reform of the London Fire Brigade, to national building-safety regulation illustrates an important principle.

Decisions made during policy development, design, product manufacture and construction eventually become physical conditions encountered by residents and firefighters.

Firefighters discover whether compartmentation works, whether smoke-control systems operate, whether plans are accurate, whether evacuation assumptions remain valid and whether the building behaves as designed.

Operational experience should not dominate building regulation. Equally, regulation should not be developed without understanding the operational consequences of building failure. The two are parts of the same safety system.

10. A STRONGER BUT STILL FRAGMENTED SYSTEM

The post-Grenfell reforms are substantial. They have created clearer responsibilities, stronger regulatory powers, better information requirements and greater recognition of resident safety. However, many changes have been introduced by adding new duties and institutions to the existing architecture.

Building regulations, fire-safety legislation, product regulation, professional competence, remediation programmes, landlord duties, local-authority functions and fire-service enforcement continue to interact. Each has its own legal boundaries, terminology and institutional arrangements.
This layering was understandable. Government had to respond to urgent risks while designing longer-term reform. Testing programmes, advice notes, remediation funds, interim measures and new legal requirements were introduced at different times to address different parts of the crisis.

Nevertheless, complexity increased before coherence improved. Your historical analysis describes the outcome accurately: fragmentation was reduced but not eliminated.

This helps to explain the Grenfell Tower Inquiry's recommendation for a Single Construction Regulator. The recommendation was not simply administrative tidying. It reflected the conclusion that nobody had maintained a sufficiently complete view of the building system.

11. TOWARDS A SINGLE CONSTRUCTION REGULATOR

The Government published its Single Construction Regulator prospectus in December 2025. It proposed greater integration across the regulation of buildings, construction products and building professions [9].

The prospectus acknowledged that fragmentation was itself a source of risk. It proposed a system in which:

- buildings and the wider built environment are safe;
- construction products are fit for purpose and accurately represented;

- businesses and professionals are rewarded for responsible behaviour; and
- residents can trust the regulatory system.

The Government published its consultation response on 9 July 2026. It confirmed its commitment to the Single Construction Regulator and reported broad support for the direction of reform. It described the intended role of the regulator as counteracting institutional and regulatory fragmentation and creating a system capable of connecting risks that had previously remained unaddressed.

The response should be understood as a direction of travel rather than a completed institutional design. Further work remains necessary on building control, construction products, professions, data, enforcement and the allocation of functions.

The future regulator will face difficult questions:

- Will it have sufficient independence to challenge both industry and government?
- Will consolidation create genuine integration or merely place separate functions within one organisation?
- Will it possess sufficient scientific and engineering capability?
- How will it relate to fire and rescue services, local authorities, standards bodies and other regulators?
- How will it gather and interpret intelligence from fires, residents, research and product investigations?
- How will Parliament determine whether it is improving safety rather than simply processing more regulatory activity?

A single regulator can reduce organisational fragmentation. It cannot by itself guarantee integrated thinking. The real objective must be regulatory stewardship: an institution capable of seeing the system as a whole, identifying weak interfaces and intervening before disconnected warning signs become catastrophe.

12. RESIDENTS, INFORMATION AND TRUST

One of the most important lessons from Grenfell concerns the treatment of residents.

Residents had raised concerns about the management and safety of Grenfell Tower before the fire. Their experience demonstrated how easily information can be discounted when it comes from people without formal authority, professional qualifications or institutional power.

The post-Grenfell framework provides stronger rights to information, engagement and complaint. This is not an optional addition to technical regulation. Residents observe buildings in daily use. They may identify defective doors, blocked escape routes, unauthorised alterations, alarm failures, poor maintenance and recurring management problems long before those matters appear in formal inspection data.

Residents are therefore a source of safety intelligence.

However, engagement must involve more than issuing newsletters, publishing strategies or holding consultation meetings. A building owner or regulator must be able to show that concerns have been recorded, assessed, answered and, where necessary, acted upon.
Trust is not restored through communication alone. It is restored when institutions demonstrate that they listen, explain their decisions, admit uncertainty and act consistently in the interests of building users.

The Single Construction Regulator prospectus recognises that the future regulator must listen to concerns, communicate its impact and build relationships across residents, industry and regulatory bodies.

13. INTERNATIONAL REFLECTIONS

England's experience does not produce a simple blueprint for other jurisdictions. Its reforms are still being implemented and tested. Nevertheless, Grenfell raises questions relevant to every system of fire and building regulation.

13.1 Can any institution see the whole?
Complex regulatory systems distribute responsibility across many actors. That may be necessary, but someone must be capable of joining together intelligence from buildings, products, professional conduct, residents and fires.
13.2 What supports professional discretion?
Performance-based regulation can encourage innovation, but discretion must be supported by competence, clear guidance, reliable evidence and regulatory challenge. Otherwise, flexibility can become uncertainty.
13.3 Does product evidence describe real use?
A classification or certificate may be accurate within defined limits but misleading when applied to a different configuration. Regulators and designers must understand the relationship between product performance and system performance.
13.4 Are regulators independent and capable?
Regulatory powers are ineffective without sufficient people, technical expertise, data and enforcement capacity. Independence also matters where regulators operate alongside strong political and commercial pressures.
13.5 Are residents treated as participants in safety?
Residents should not be expected to act as unpaid inspectors. Nevertheless, their lived experience is an important source of intelligence and should be incorporated into building-safety assurance.
13.6 Does the system learn before catastrophe?
Many disasters are preceded by weaker signals: minor fires, complaints, test anomalies, enforcement cases and professional concern. A mature safety system connects those signals before they align into a major failure.
These are not questions for Türkiye alone. They remain live questions for England.

CONCLUSION

Grenfell Tower should not be understood solely as a cladding fire, a failure of building regulation or an operational emergency. It was the catastrophic outcome of weaknesses that had accumulated across an entire socio-technical system.

Over several decades, England moved from detailed prescription towards functional regulation, professional judgement and market delivery. That shift was not irrational. It reflected legitimate objectives of flexibility, innovation and proportionality.

But performance-based regulation comes with conditions. It requires competent people, reliable information, credible testing, effective enforcement and clear accountability. Above all, it requires institutional stewardship across the interfaces between buildings, products, professions, ownership and emergency response.

Grenfell exposed what happens when no actor sees the whole.

The first phase of reform addressed immediate fire-safety risks and clarified the scope of occupied-building duties. The second created stronger accountability through the Building Safety Act, regulatory gateways, dutyholders, accountable persons and the golden thread. The emerging third phase seeks to integrate buildings, products and professions through a Single Construction Regulator.

The direction of travel is therefore from fragmented compliance towards system stewardship.
That journey is by no means complete. New legislation can establish duties and regulators can acquire powers, but neither guarantees competent implementation or cultural change. A system may become more complicated without becoming more coherent. A regulator may collect more information without developing greater intelligence. An industry may comply with new processes while retaining old behaviours.

The enduring lesson from Grenfell is not simply that dangerous materials should be prohibited. It is that public safety depends upon the quality of the entire system through which risks are recognised, communicated, controlled and challenged.

Effective regulation must make responsibility visible. It must connect information across institutional boundaries. It must listen to those who live with risk. It must retain the lessons of previous failure. And it must be capable of intervening when formal compliance does not provide convincing evidence of safety.

Those principles are not uniquely English. They are relevant wherever complex buildings, commercial pressures and public responsibility meet.

REFERENCES

[1] Grenfell Tower Inquiry, *Grenfell Tower Inquiry: Phase 2 Report*, UK Government, London, 2024.
[2] Ewen, S., *Before Grenfell: Fire, Safety and Deregulation in Twentieth-Century Britain*, University of London Press, London, 2023.
[3] Building Regulations 1985, Statutory Instrument 1985 No. 1065, HMSO, London, 1985.
[4] Apps, P., Barratt, L. and Barnes, S., "The Paper Trail: The Failure of Building Regulations", *Inside Housing*, 23 March 2018; but see also Apps, P. (2022) *Show me the bodies: how we let Grenfell happen*. London: Oneworld Publications.
[5] Hackitt, J., *Building a Safer Future: Independent Review of Building Regulations and Fire Safety—Final Report*, HM Government, London, 2018.
[6] Fire Safety Act 2021, Chapter 24, The Stationery Office, London, 2021.
[7] Fire Safety (England) Regulations 2022, Statutory Instrument 2022 No. 547, The Stationery Office, London, 2022.
[8] Building Safety Act 2022, Chapter 30, The Stationery Office, London, 2022.
[9] Ministry of Housing, Communities and Local Government, *The Single Construction Regulator Prospectus*, CP 1464, UK Government, London, December 2025.
[10] Ministry of Housing, Communities and Local Government, *Single Construction Regulator Prospectus: Government Response*, UK Government, London, July 2026.
[11] Grenfell Tower Inquiry, *Grenfell Tower Inquiry: Phase 1 Report*, UK Government, London, 2019.
[12] Home Office, *Fire Safety in Purpose-Built Blocks of Flats*, UK Government, London, various editions.
[13] Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005, Statutory Instrument 2005 No. 1541, The Stationery Office, London, 2005.
[14] Building Safety Regulator, *Strategic Plan 2026 to 2027*, UK Government, London, 2026.

CURRICULUM VITAE

Professor Steve McGuirk CBE, QFSM, DL is Executive Director of the Fire Sector Confederation, an independent charity working across the fire and building-safety system to improve governance, competence, collaboration and public confidence. He also serves as Secretary to the All-Party Parliamentary Group on Fire & Rescue.

He served as an expert witness to the Grenfell Tower Inquiry from 2017 to 2024, providing independent analysis of operational firefighting, command, regulation and organisational learning. He has also provided expert advice to the Scottish prosecuting authorities following the death of a firefighter at an operational incident.

His fire and rescue service career extended over 39 years. He was Chief Fire Officer and Chief Executive in Cheshire and Greater Manchester and South Yorkshire. He was President of the Chief Fire Officers Association and worked extensively with ministers, government departments, local authorities and parliamentary committees.

He was awarded the Queen's Fire Service Medal and appointed Commander of the Order of the British Empire for services to public safety. He is a Fellow of the Institution of Fire Engineers, a Fellow of the Institute of Fire Safety Managers and a Deputy Lieutenant of Greater Manchester.

MOVING TOWARD A PERFORMANCE-BASED BUILDING CODE AND ENHANCING FIRE SAFETY ENGINEERING EDUCATION

BJÖRN KARLSSON

ABSTRACT

Rapid developments in building technology have produced large and unconventional buildings for which prescriptive fire safety rules, based on past experience, provide little guidance. At the same time, advances in fire modelling and evacuation modelling allow engineers to verify fire safety on the basis of fundamental physics and chemistry. Many countries have therefore moved from prescriptive toward performance-based building regulations. This paper describes the principles of performance-based regulation, using the hierarchy of demands developed by the Nordic Committee on Building Regulations as a framework, and outlines how Iceland, a small country with limited resources, chose a gradual transition through a new Construction Act and a revised Building Regulation. A performance-based code is, however, only as effective as the engineers who apply it. The second part of the paper therefore addresses fire safety engineering education: the core curriculum of the discipline, the fundamental course Enclosure Fire Dynamics, examples of Nordic degree programmes, and the long-standing cooperation among Nordic universities in developing shared and freely available educational material. The paper concludes that regulatory reform and educational development must proceed together.

Key words: performance-based building codes, prescriptive codes, building regulation, fire safety engineering education, enclosure fire dynamics, Nordic cooperation

SUMMARY

Performance-based building codes state what a building must achieve rather than how it must be built. They give designers flexibility and encourage innovation, but they shift the burden of proof to the designer, who must verify through analysis that the performance requirements are met. This paper argues that the move toward performance-based regulation and the development of fire safety engineering education are two sides of the same reform. It draws on the Icelandic experience, where a new Construction Act (2010) and a new Building Regulation (2012) introduced performance statements throughout the regulation while retaining prescriptive solutions as acceptable means of compliance. It then describes how Nordic universities, through decades of cooperation, have developed curricula, textbooks and teaching material that prepare engineers for performance-based design. The experience is offered as a contribution to countries that are now revising their fire regulations.

Introduction

Fire safety regulations can have a major impact on many aspects of the overall design of a building, including layout, aesthetics, function and cost. Rapid developments in building technology in recent decades have often resulted in unconventional structures and design solutions. The physical size of buildings continues to increase, and there is a tendency to build large underground car parks, warehouses and shopping complexes. The interior design of many buildings, with large light shafts, patios and covered atriums connected to horizontal corridors or malls, introduces new risk factors concerning the spread of smoke and

fire. Past experience and historical precedent, which form the basis of prescriptive building codes, rarely provide the guidance necessary to deal with fire hazards in new or unusual buildings.

At the same time there have been great strides in the understanding of fire processes and their interrelationship with people and buildings. Advancement has been particularly rapid in analytical fire modelling and evacuation modelling, and models of varying degrees of sophistication are now used by engineers in the building design process internationally.

As a result, there has been a worldwide tendency to replace prescriptive building codes with codes based on performance [1]. Instead of prescribing exactly which protective measures are required, such as a given number of exits for evacuation purposes, a performance-based code states the objectives that the building must meet, such as that occupants must be able to escape safely in the event of fire. Fire modelling and evacuation modelling can then be used to assess whether the proposed protective measures are effective.

Such a transition cannot be achieved by rewriting the building regulation alone. The whole legislative system, including building acts and regulations, must be revised with the transition in mind. Furthermore, the increased complexity of the technical solutions requires higher levels of academic training for fire safety engineers and a higher level of continuing education during their careers.

This paper addresses both sides of this development and builds on two earlier papers by the author and his colleagues [2], [3]. It first outlines the principles of performance-based building regulation and describes how Iceland, a country with limited economic resources, has approached the transition from prescriptive toward performance-based regulation. It then describes the fire safety engineering design process that such regulation requires, a core curriculum for fire safety engineering, and how Nordic universities have cooperated in developing courses and educational material in this emerging field of engineering.

Background on Performance-Based Building Codes

It has been argued that the main purpose of building regulations is to serve as a legal tool to provide minimum social needs with regard to the built environment, without causing excessive costs to society [4]. This objective can be achieved by regulations composed of a mixture of prescriptive and performance requirements. A prescriptive rule would typically be of the type “Escape routes shall not exceed 30 metres in length”, while the corresponding performance-based rule could be of the type “An escape route shall be designed in such a way that the occupants may exit the building safely in case of fire”. The prescriptive rule presents an exact measure and can easily be verified, but it is inflexible. The performance-based rule states a goal and allows flexibility and a variety of design solutions, but verifying that the goal is fulfilled can be a challenge.

Over recent decades there has been an effort in many parts of the world to move from prescriptive demands in building regulations toward an increased use of performance-based demands. A comprehensive report on the transition from prescriptive to performance-based building codes in 14 countries was published by the Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee (IRCC) [1]. The Performance-based Building Thematic Network (PeBBu), funded under the Fifth Framework Programme of the European Commission, involved over 70 organisations worldwide and resulted in several reports on the issue [5], [6]. The Society of Fire Protection Engineers has published guidelines on performance-based fire protection analysis and design [7], and international bodies such as the Conseil International du Bâtiment (CIB), the International Organization for Standardization (ISO) and the International Code Council (ICC) have produced guidelines, standards and codes on the subject.

Several decades ago, regulatory agencies of all types, and in many parts of the world, began to reconsider the traditional prescriptive approach to regulation, seeking ways to clarify the intent of regulation, reduce regulatory burden and encourage innovation without compromising the level of performance delivered. This gave rise to consideration of functional, objective-based or performance-based approaches to regulation. In the building regulatory environment, the hierarchy outlined by the Nordic Committee on Building Regulations (NKB) became a widely adopted model [8], [9]. Figure 1 shows an outline of the NKB hierarchy of demands.



Figure 1 The NKB hierarchy of demands

In the NKB model the regulatory provisions are based on a set of broad societal goals at the top of the pyramid. Through increasing levels of detail, functional requirements (qualitative) and operative requirements (quantitative) for buildings are described. Verification is found at the next level. Instead of prescribing a single set of design specifications for compliance, the approach outlines the need for instructions or guidelines for verification of compliance. These could include engineering analyses, test methods and similar means, and would be used to demonstrate compliance with the operative requirements. Finally, at the bottom of the pyramid one finds examples of acceptable solutions. These are supplements to the regulations with examples of solutions deemed to satisfy the requirements, and they may be prescriptive.

The NKB model is attractive because it places the focus on societal, policy-level goals and allows for a variety of forms of regulatory provisions to provide the detail required to demonstrate compliance. Any regulatory regime must find a balance between how tight controls should be in promoting consistency and accountability and how much discretion should be granted in promoting flexibility and innovation. The prescriptive approach emphasises control and accountability, whereas the performance-based approach seeks to promote flexibility with accountability for results [10].

Some of the potential benefits of moving toward a performance-based regulatory regime are greater effectiveness in reaching specific regulatory objectives, greater flexibility in the means of adhering to the regulation and an increased incentive for innovation, resulting in buildings that are to a greater extent designed for their intended use. Some of the potential drawbacks are uncertainty in how to interpret the regulation in practice, leading to inconsistencies in the application of rules and decreased predictability of regulatory expectations. This may also lead to inconsistencies in the way that local building authorities enforce the regulation. A move toward a performance-based regulatory regime therefore calls for a considerable effort to produce supporting literature for designers, builders and inspectors, such as instructions, guidance documents, inspection manuals and examples of acceptable solutions.

The IRCC report [1] describes how 14 countries made the transition from prescriptive toward performance-based building codes. In many of these countries the shift was gradual and careful, while other countries opted for comprehensive changes in a single step. As an example, Canadian officials decided

that a rapid conversion of the model National Code Documents to a performance-based format would be extremely disruptive to the Canadian construction industry and regulatory community. A more evolutionary approach was chosen, retaining the existing mixture of performance and prescriptive provisions but tying each provision to at least one explicitly stated code objective.

Similarly, the Icelandic authorities had, for a number of reasons, to seek a gradual transition from a prescriptive to a performance-based building code. A small economy such as Iceland has very limited resources to produce guidance documents on technical demands in construction. There was also an overall lack of instructions, textbooks, courses and often expertise to provide engineering calculations as verification methods for code compliance. A decision was therefore made to move gradually toward a more performance-based building code, by inserting performance demands into all chapters and most sub-chapters of the new regulation, while making a decisive effort to increase the number of guidance documents related to the regulation.

A New Construction Act in Iceland

Building regulatory systems are enacted to protect the interest of the general public and are run by governments at central, provincial, state or municipal level, depending on the structure of a country's government. In Iceland there are only two levels of government, central and municipal. The central government makes policy decisions and is in charge of developing legislation and building regulations, while the municipalities, through their building officials, enforce the building regulations to a great extent. Any change in a building regulatory system is a public policy decision and is therefore influenced by the prevailing political and legal system.

In 2002 a public policy decision was made in Iceland to split the Planning and Building Act into two parts, a new Planning Act and a new Construction Act. The Icelandic Minister for the Environment appointed the author of this paper as a member of the committee that drafted the new Construction Act. The Act was passed by Parliament in 2010 [11], and a new government body, the Iceland Construction Authority (ICA), was formed. The ICA was made responsible for overseeing acts, regulations and rules on building, fire safety and electrical safety. In 2020 the ICA was merged with the Housing Financing Fund to form the Housing and Construction Authority (HMS), which has since carried these responsibilities [12].

According to the Construction Act, all designers, construction managers and master builders must be certified and operate a quality assurance system as from 2015. The ICA also produced inspection manuals, according to which all official control of building plans and construction works were inspected and reports stored in an electronic building permit submission system. The manuals cover a wide range of regulatory fields, such as structural stability, fire safety, energy efficiency, universal access, health and noise. The Act further foresaw that inspections would be carried out by certified inspectors working for accredited inspection bodies or accredited municipal building authorities.

This regulatory method has been successfully implemented in a number of other fields, such as vehicle safety, ship safety and electrical safety. Its implementation in construction must, however, be regarded as a considerable challenge, since buildings are usually not mass-produced and each building is a unique product.

Following the new Act, the Icelandic Building Regulation was fundamentally revised, and the new Building Regulation No. 112/2012 came into force in January 2012 [13]. Every chapter and most sub-chapters of the regulation now begin with a performance description, representing a decisive step toward a performance-based regime. Further steps require more work on instructions, guidance documents and inspec-

tion manuals, and on verification rules that inform designers how they can use calculations, modelling, tests and reasoned argument to demonstrate that a design solution fulfils the performance demands. This, in turn, requires engineers who are trained to carry out such verification.

The Fire Safety Engineering Design Process and Code Demands

A performance-based approach demands professional designers with a deep knowledge of the technical fundamentals, such as mathematics, physics, chemistry and thermodynamics. Various sets of rules, procedures and guidelines on how to use fire safety engineering methods in building design have been developed over the last few decades. It is known, for example, that humans can tolerate a limited amount of heat and a limited amount of toxic gases for a short time, and that a minimum visibility must be guaranteed if occupants are to evacuate a smoke-filled environment effectively.

A general consensus on a number of such limiting values has been established and published in standards, guidelines and national building regulations. The limiting values vary somewhat between countries, but the performance-based demands are essentially similar. For example, when the design goal concerns the safety of building occupants, a demand is made that smoke must not hinder safe evacuation. This entails that the smoke layer does not descend below roughly 2 m above floor level, or that the concentration of carbon monoxide in the smoke remains below 2000 ppm. A description of the fire safety engineering design process and of limiting design values is given, for example, in the Nordic standard INSTA 950 [14], which is valid in Norway, Sweden, Denmark, Finland and Iceland. Other standards and guidelines are also available, such as the SFPE guide to performance-based fire protection [7].

The prescriptive and the performance-based approach to design

When preparing a trial fire safety design for a building, an engineer will often base the initial design on prescriptive demands in the building code, or on pre-accepted solutions, as presented at the base of the pyramid in Figure 1. For simplicity and expediency, buildings are therefore commonly designed against the threat of fire using only prescriptive demands or pre-accepted solutions. A deviation from one or more of these solutions may, however, be in the interest of the builder. For example, the fire safety design of a simple two-storey school building may easily be based on prescriptive demands. If the owner decides that the stairway between the floors must be open, allowing smoke to travel between the floors, the designer may benefit greatly from using calculations and fire models to design heat and smoke extraction, thus fulfilling the performance-based demand of a smoke-free escape environment.

Figure 2 shows examples of how design solutions can be verified when using prescriptive or performance-based fire safety engineering design methods, or a combination of both. Compliance with fire safety regulations can be demonstrated by constructing the building in accordance with prescribed or pre-accepted solutions as defined by the national building authorities. Alternatively, where the national building authority allows it and has set performance-based demands, a design solution can be based on fire safety engineering methods as a means of proving that the fire safety is satisfactory. This, however, demands that the designer has a fundamental understanding of enclosure fire dynamics, the study of how the outbreak of a fire in a compartment causes changes in the environment of the enclosure.

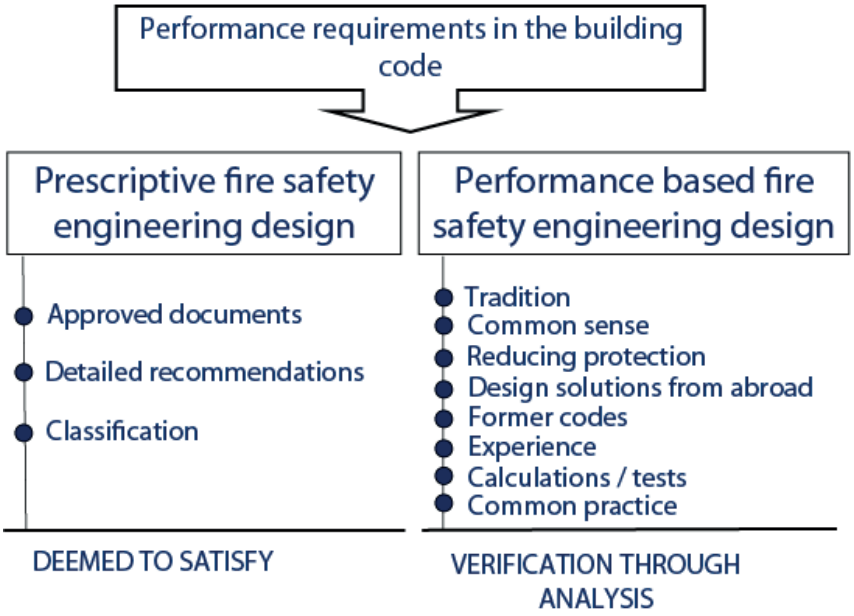


Figure 2 Examples of ways to verify compliance with the demands of a building code using prescriptive or performance-based fire safety engineering methods, or a combination of both

In fire safety engineering design the engineer can use various tools to verify that the proposed design fulfils certain fire safety objectives and results in safety levels that are acceptable to society. The design goals can, for example, be the safe evacuation of people, the prevention of building collapse, the protection of property and the safety of rescue teams. In the process of verifying that the design goals are met, the designer can use rational argument, traditional solutions, laboratory tests and many other tools. The calculations and models used for this purpose are predominantly based on classical physics, chemistry and thermodynamics, derived from scientific principles, empirical correlations and laboratory test results. These modelling techniques and calculation methods are the main focus when studying enclosure fire dynamics.

Core Curriculum in Fire Safety Engineering

The field of fire safety engineering encompasses topics from a wide range of engineering disciplines, as well as material of unique interest to fire safety engineering. It is not immediately obvious which of these topics should be addressed in courses for fire safety engineering students. When developing such courses, the author and his colleagues were greatly assisted by A Proposal for a Model Curriculum in Fire Safety Engineering by Magnusson et al. [15], which identifies the content of the background, fundamental and applied courses that may be taught within the discipline. The Society of Fire Protection Engineers has since expanded on the curriculum for both bachelor's and master's programmes [16], [17]. The fundamental courses listed by Magnusson et al. are divided into five modules: fire fundamentals, enclosure fire dynamics, active fire protection, passive fire protection, and interaction between fire and people.

These modules are interlinked to a considerable extent, and it is often a matter of preference where to include borderline topics and where to present a summarised background. Nor is it obvious where to strike the balance between material presented in the fundamental modules and material assumed to be prerequisite knowledge from basic courses in physics, chemistry and fluid mechanics. A basic knowledge of mathematics, physics and chemistry is assumed.

The course Enclosure Fire Dynamics

As an example, one of the fundamental courses listed above is discussed further here: Enclosure Fire Dynamics, the study of how the outbreak of fire in a compartment causes changes in the environment of the enclosure. At many of the Nordic universities where fire safety engineering is taught, the textbook Enclosure Fire Dynamics by Karlsson and Quintiere [18] is used as the main literature. A second edition was published in 2022 [19]. The textbook does not attempt to provide an in-depth study of all the phenomena involved, but rather presents the dominant mechanisms controlling an enclosure fire and derives simple analytical relationships that can be used in practice. In view of the increased use of calculation procedures and computer models in fire safety engineering design, the main purpose of the textbook is to provide an introductory, basic understanding of the phenomena of interest together with examples of their practical use, to derive the equations from first principles. This gives the student a true sense of the validity of the procedures in each design situation, and the opportunity to compare the derived equations with experimental data in order to give a sense of confidence in the analytical results. Laboratory experiments, computer labs and design exercises are also described in the textbook.

Fire Safety Engineering Programmes in the Nordic Countries

At the Nordic universities, fire safety engineering is taught in a great variety of ways. Some universities teach one or two fire-related courses as part of a BSc or MSc engineering degree, others provide full BSc programmes in fire safety engineering, and some provide a full MSc degree in fire safety engineering on top of any BSc degree in engineering.

Lund University, Sweden, offers an extended BSc degree in Fire Protection Engineering, with around 50 students per year, and Luleå University of Technology, Sweden, offers a similar BSc programme. Both programmes also offer a 2 year MSc course on the subject. Lund University also offers the International Master of Science in Fire Safety Engineering (IMFSE), an Erasmus Mundus programme run together with Ghent University and the University of Edinburgh. This is a two-year programme with around 20 students per year, in which the students spend one third of their time at each of the three universities. Figure 3 shows a schematic of the Lund BSc programme, where the numbers on the left-hand side represent the years of study.

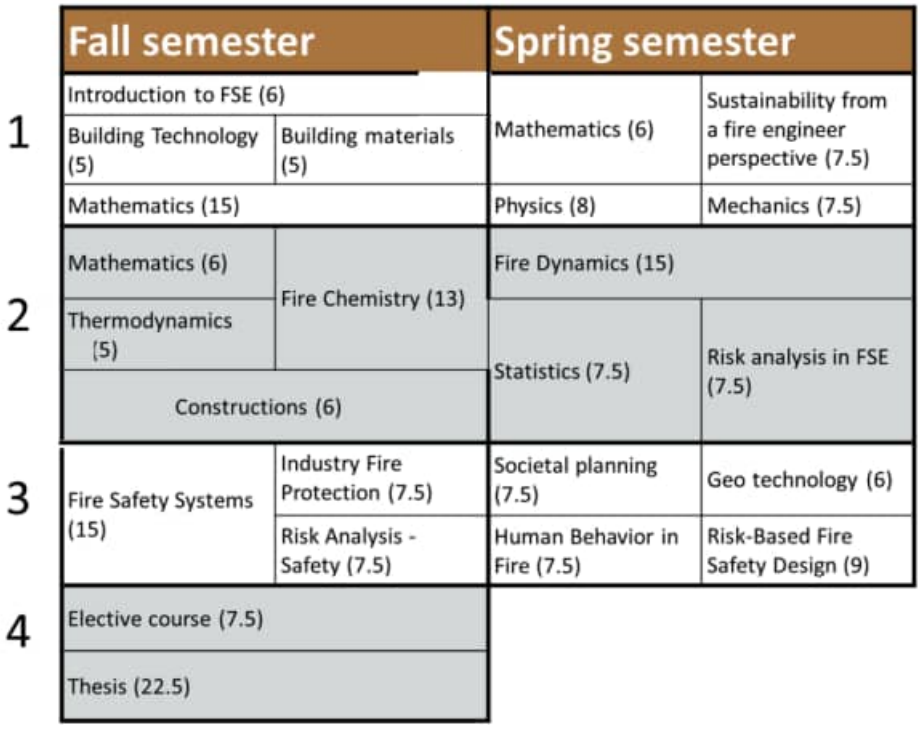


Figure 3 Schematic of the former (until 2025) three-and-a-half-year extended BSc programme in Fire Protection Engineering at Lund University, Sweden. From 2026 a renewed programme offers a 3 year BSc degree and an optional 2 year MSc degree.

Graduates from these programmes have been much appreciated by employers in industry, government and local authorities, and for decades there has been no registered unemployment among fire safety engineers in Sweden [3]. On average, the graduates earn higher salaries than graduates from other engineering programmes, such as civil and mechanical engineering, and applications to enter the programmes have for many years far exceeded the intake. In view of these facts, the fire safety engineering programmes in Sweden can be regarded as very successful.

Nordic Cooperation in Fire Safety Engineering Education

In addition to the programmes at Lund University and Luleå University of Technology, degree programmes or single courses in fire safety engineering are provided at several other Nordic universities, such as the Technical University of Denmark (DTU), Aalto University in Finland, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Western Norway University of Applied Sciences in Haugesund, and the University of Iceland. The academics involved in fire safety engineering education at these institutions have for many years collaborated on course development and the production of educational material, as well as on organising conferences and on research.

This informal cooperation was formalised in 2015, when a core group of Nordic fire safety engineering educators and researchers founded Nordic Fire and Safety Days (NFSD). Its main activity is an annual conference on fire safety engineering in the Nordic countries, and it has grown into a meeting point for educators, researchers, students and professionals interested in fire protection and safety. In 2020 the network received three-year funding from Nordic Energy Research, an institution under the Nordic Council of Ministers, for a cooperation programme on fire safety and risk management of buildings and energy infrastructure. The programme has included summer schools, PhD exchange, webinars and continuing education for professionals.

Within this network, teachers at four Nordic universities have cooperated for a number of years on educational material for the course Enclosure Fire Dynamics, supported by several Erasmus+ staff mobility grants for teaching. Besides the second edition of the textbook [19], the cooperation has produced lecture slides, homework assignments, descriptions of laboratory experiments, reading instructions for students, detailed problem solutions and descriptions of computer labs for simulating fires and evacuation. Most of this material is available free of charge on the website of the International Association for Fire Safety Science (www.iafss.org).

CONCLUSION

Building regulations usually consist of a mixture of prescriptive and performance-based demands. A predominantly performance-based approach offers greater flexibility in the means of adhering to the regulation and an increased incentive for innovation, resulting in buildings that are to a greater extent designed for their intended use. Its disadvantages are uncertainty in how to interpret the regulation in practice, which can lead to inconsistent application of rules and considerable variation in enforcement between local building authorities.

A move toward a performance-based regulatory regime therefore calls for a considerable effort to produce supporting literature for designers, builders and inspectors, such as instructions, guidance documents, inspection manuals and examples of acceptable solutions. Performance-based codes also call for very clear instructions on how a designer can verify code compliance. In Iceland, where supporting literature for the construction industry was generally lacking, a decision was made to move gradually toward a more performance-based building code by inserting performance demands into all chapters and most sub-chapters of the new Building Regulation, while retaining prescriptive solutions as acceptable means of compliance.

The regulation is, however, only one half of the reform. Verifying that a design fulfils a performance demand requires engineers with a fundamental understanding of fire phenomena, able to use calculation methods and models with an awareness of their validity. The Nordic experience shows that this competence can be built through a clearly defined core curriculum, rigorous fundamental courses such as Enclosure Fire Dynamics, and sustained cooperation between universities in sharing teaching material and staff. The cross-Nordic cooperation described in this paper has produced comprehensive educational material that is freely available to others. Countries that are now revising their fire regulations may benefit from treating regulatory reform and the education of fire safety engineers as a single, coordinated effort.

REFERENCES

[1] Meacham, B.J. (ed.), Performance-Based Building Regulatory Systems: Principles and Experiences, Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee, 2010

[2] Karlsson, B., Changing the Building Regulatory System in Iceland and Paving the Way Toward Electronic Submission of Building Permits and Automated Code Compliance Checks, Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2012), Reykjavik, CRC Press, pp. 487–493, 2012

[3] Karlsson, B., Johansson, N., Försth, M., Schiött Sörensen, L., Dederichs, A.S., Nordic Cooperation on Course Development in an Emerging Field of Engineering, Proceedings of the 18th International CDIO Conference, Reykjavik University, Reykjavik, 13–15 June 2022

[4] Oleszkiewicz, I., The Concept and Practice of Performance-Based Building Regulations, IRC-IR-697, National Research Council Canada, 1994

[5] Foliente, G., Huovila, P., Ang, G., Spekkink, D., Bakens, W., Performance Based Building R&D Roadmap, PeBBu Final Report, CIBdf, Rotterdam, 2005

[6] Szigeti, F., Davis, G., Performance Based Building: Conceptual Framework, PeBBu Final Report, CIBdf, Rotterdam, 2005

[7] SFPE, SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings, 2nd ed., Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2007

[8] NKB, Nordic Committee on Building Regulations, Programme of Work for the NKB, Report No. 28, Stockholm, 1976

[9] NKB, Nordic Committee on Building Regulations, Structure for Building Regulations, Report No. 34, Stockholm, 1978

[10] May, P.J., Performance-Based Regulation and Regulatory Regimes, Global Policy Summit, National Academy of Sciences, Washington DC, 3–5 November 2003

[11] Act on Construction No. 160/2010, Althingi, Reykjavik, 2010

[12] Act on the Housing and Construction Authority No. 137/2019, Althingi, Reykjavik, 2019

[13] Building Regulation No. 112/2012, Ministry for the Environment, Reykjavik, 2012

[14] INSTA 950:2014, Fire Safety Engineering: Comparative Method to Verify Fire Safety Design in Buildings, Nordic standard, 2014

[15] Magnusson, S.E., Drysdale, D., Fitzgerald, R.W., Mowrer, F., Quintiere, J.G., Williamson, R.B., Zalosh, R.G., A Proposal for a Model Curriculum in Fire Safety Engineering, Fire Safety Journal, Vol. 25, 1995, DOI: 10.1016/S0379-7112(95)00038-0

[16] SFPE, Recommendations for a Model Curriculum for a BS Degree in Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers, 2010

[17] SFPE, Recommended Curriculum Content for an MS/ME in Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers, 2013

[18] Karlsson, B., Quintiere, J.G., Enclosure Fire Dynamics, CRC Press, Boca Raton, FL, 1999

[19] Karlsson, B., Quintiere, J.G., Enclosure Fire Dynamics, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2022

CURRICULUM VITAE

Björn Karlsson studied Civil Engineering in Edinburgh, Scotland. He defended his Ph.D. thesis at the Department of Fire Safety and Risk Engineering, Lund University, Sweden, where he worked on research and education 1985-2000, predominantly as an Associate Professor. He taught Fire Dynamics at Lulea University of Technology for 12 years. He was Visiting Professor at the University of Maryland, USA, and worked there, together with Professor Jim Quintiere, to write the textbook “Enclosure Fire Dynamics”. Björn has authored over 100 scientific papers and has received various international awards for his work on education and science. In the year 2000 he returned to his native country Iceland to become the Director General of the Iceland Fire Authority, responsible for fire regulations and fire fighter education. In 2010 he became the Director General of the Iceland Construction Authority and worked on transforming the Building Regulations into a performance-based code. Simultaneously he has served as Professor at the Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Iceland and currently holds the position of Professor Emeritus there.

THE SAUDI BUILDING CODES AND THE VARIOUS METHODS FOR ACHIEVING FIRE SAFETY IN EXISTING BUILDINGS

ABDULLAH M. ELREFAI, MUSTAFA FARES

ABSTRACT

The Kingdom of Saudi Arabia has, over the past two decades, built a complete national code system: a family of Saudi Building Codes (SBC) issued by the Saudi Building Code National Committee and made mandatory by law. Designing a new building to that system is now a well-understood exercise. The harder question — the one every authority having jurisdiction eventually faces — is what to do with the buildings that were finished before the code existed. Saudi Arabia's answer is not a single rule but a set of parallel routes. This paper describes them. It begins with a short account of the SBC itself: how it is issued, how it is structured, and which of its volumes speak to existing construction. It then sets out the three routes available to an existing building. The first is the retroactive prescriptive route of SBC 801 Chapter 11, which states a defined minimum of fire and life safety that every existing building must reach regardless of when it was built and regardless of whether any work is being done to it. The second is the work-area and performance route of SBC 901, the Saudi Existing Building Code, including the numerical compliance-alternative evaluation that lets a building demonstrate equivalence rather than conformity. The third is not a route so much as a mechanism built into the first two: the systematic use of automatic sprinkler protection as the currency with which other deficiencies are bought back. The paper closes by positioning the Saudi approach against the International Fire Code and NFPA 101, and by drawing out the lessons that transfer to any country with a large stock of pre-code buildings.

Key words: Saudi Building Code, SBC 801, existing buildings, retroactive fire safety requirements, performance compliance

SUMMARY

Existing buildings are where the fire problem actually lives. A national code applied only to new construction improves the building stock at the rate the stock is replaced, which in most countries is one or two percent a year. Saudi Arabia has addressed this directly. SBC 801, the Saudi Fire Protection Code, contains in Chapter 11 a set of construction requirements that apply retroactively to buildings constructed before the code was adopted, collected into one chapter so that they can be inspected and enforced as a single instrument. SBC 901, the Saudi Existing Building Code, governs buildings undergoing repair, alteration or change of occupancy, and offers a prescriptive method, a work-area method and a performance compliance method that scores a building against twenty-one safety parameters. Between them, the two codes give the fire official a graduated toolkit: a hard floor that no building may fall below, a proportionate set of triggers tied to the work being done, and an evidence-based escape valve for buildings where literal compliance is physically or economically impossible. Throughout, the code uses automatic sprinkler protection as an explicit trade: install it, and a long list of construction deficiencies becomes acceptable. This is the single most effective idea in the chapter, and it is transferable.

INTRODUCTION

Fire codes are written for buildings that do not yet exist. That is their natural habitat: a design can be changed on paper at no cost, and a requirement imposed before construction is almost always cheaper than the same requirement imposed afterwards. The consequence is that the buildings most in need of attention — older, unsprinklered, with unprotected vertical openings and egress systems designed to a standard nobody would accept today — are the buildings the code says least about.

Every jurisdiction that adopts a modern code inherits this problem on day one. The Kingdom of Saudi Arabia inherited it on a large scale. The country urbanised rapidly from the 1970s onward, and a very substantial part of its building stock was completed before any unified national code was in force. When the Saudi Building Code was made mandatory, the question was not whether those buildings were compliant — they plainly were not — but what minimum level of safety the state was prepared to accept in them, and by what process they would be brought up to it.

This paper describes the answer, which is more nuanced than a simple retrofit mandate. It has three parts: a hard retroactive floor, a proportionate work-triggered regime, and a performance-based alternative. Understanding how they fit together requires first understanding the code family itself.

THE SAUDI BUILDING CODE

The Saudi Building Code is the product of a deliberate, twenty-year institutional effort. The National Committee for the Saudi Building Code was established by Council of Ministers Resolution No. 174 of 2001, chaired by the Governor of the Saudi Standards, Metrology and Quality Organization (SASO) and composed of representatives of the Ministries of Interior, Municipalities and Housing, Transport, Environment, Commerce and Energy, the Royal Commission for Jubail and Yanbu, the Saudi Council of Engineers, King Abdulaziz City for Science and Technology, four university specialists and a private-sector representative. Its mandate is to prepare and maintain a unified national code establishing minimum requirements for the safety of life and property. The code itself was established under Council of Ministers Resolution No. 279 of 2004, and the Saudi Building Code Application Law was issued by Royal Decree in 2017, which is what gives the code its binding legal force. Mandatory application has been rolled out in phases, beginning with residential buildings and extending progressively to other occupancy types.

Structurally, the SBC is a family of volumes rather than a single document, covering administrative and legal provisions, architectural, structural, electrical, mechanical, health, water and energy conservation, fire protection, and existing buildings. Three volumes matter for the subject of this paper:

SBC 201, the Saudi Building Code – General, which is the general building code and the reference point against which an existing building's deficiencies are measured.

SBC 801, the Saudi Fire Protection Code, which governs fire prevention, fire protection systems, hazardous operations and emergency preparedness in all buildings — including, through Chapter 11, existing ones.

SBC 901, the Saudi Existing Building Code, which governs work done to existing buildings: repairs, alterations, additions, change of occupancy and relocation.

Each of these is published in two parallel forms: Code Requirements (CR), the normative text, and Code and Commentaries (CC), which reproduces the normative text with an explanation of intent alongside each provision. The commentary is not a minor convenience. For existing buildings, where nearly every provision is a negotiated compromise between safety and feasibility, the commentary is often the only place the reasoning is recorded, and it is what allows a fire official to apply the rule in the spirit in which it was drafted. The technical basis of the family is the International Code Council's model codes, adapted to Saudi conditions — a point worth noting for an international audience, because it means the Saudi provisions can be read and compared by anyone familiar with the IBC, IFC and IEBC.

METHOD ONE: THE RETROACTIVE PRESCRIPTIVE FLOOR — SBC 801 CHAPTER 11

Chapter 11 of SBC 801 is titled "Construction Requirements for Existing Buildings." It first appeared as Chapter 46 of the 2009 edition and was subsequently consolidated: retroactive fire protection and life safety requirements that had been scattered through the chapters on fire service features, fire protection systems and means of egress were brought into one place, specifically to give the enforcing official a single, convenient instrument. Premises identification remained in Chapter 5 and interior finish requirements for existing buildings remained in Chapter 8; everything else retroactive now sits in Chapter 11.

Two features define the chapter's character.

The first is that it is genuinely retroactive. Section 1101.1 applies the chapter to buildings constructed prior to the adoption of the code, and Section 1101.2 states the intent: to provide a minimum degree of fire and life safety to persons occupying existing buildings where those buildings do not comply with the minimum requirements of SBC 201. Nothing needs to trigger it — no alteration, no change of occupancy, no permit application. The obligation exists because the building exists and is occupied. Section 1103.1 adds the necessary floor: the provisions of the chapter shall not be construed to allow the elimination of fire protection systems or a reduction in the level of fire safety provided in buildings constructed under previously adopted codes. A building may not use the existing-building chapter to get worse.

The second is that enforcement is deliberately staged rather than immediate. Section 1101.4 requires the fire official to notify the owner of non-compliance; Sections 1101.4.1 and 1101.4.2 then require construction documents and completion of the work within schedules approved by the fire official; and Section 1101.4.3 authorises extensions of time where the specified periods are not physically practical or would impose undue hardship, subject to the filing of an acceptable systematic plan of correction. The chapter is not intended to produce an overnight retrofit. It is intended to produce an agreed programme with a defined endpoint. For a large national building stock this distinction is what makes the exercise possible at all.

The substance is organised around Table 1103.1, a quick-reference matrix that tells the inspector, for each occupancy classification, which provisions of the chapter are required. Within that framework:

Vertical openings (Section 1103.4) receive the most detailed treatment, and correctly so. Unprotected shafts, stairways, escalator openings and service penetrations have been a major contributing factor in most large loss-of-life fires, because stack effect turns them into chimneys. Interior vertical openings connecting three to five stories must be protected by one-hour fire-resistance-rated construction, or the building must be sprinklered throughout (Section 1103.4.2). Above five stories the sprinkler alternative disappears and one-hour construction is required (Section 1103.4.3). In Group I-2 and I-3 occupancies — hospitals, nursing homes, detention facilities — one-hour protection is required from two stories upward, with narrow exceptions (Section 1103.4.1). Escalator openings are handled separately: in Group B and M occupancies, any number of connected stories may be protected either by one-hour construction or by a full NFPA 13 sprinkler system with a draft curtain and closely spaced sprinklers around the opening (Section 1103.4.5); in other occupancies the same option is available up to four stories, and above that one-hour construction is required (Sections 1103.4.6 and 1103.4.7).

Automatic sprinkler systems (Section 1103.5) are required retroactively in defined situations rather than universally. Group I-2 occupancies must be sprinklered on the floor containing the occupancy, on all floors between it and the level of exit discharge, and on all floors below (Sections 1103.5.2 and 1105.9); hospitals classified Group I-2 Condition 2 must be sprinklered throughout, by a date set in the adopting ordinance (Section 1103.5.3). The high-rise provision (Section 1103.5.4) is the most interesting. Where the optional Appendix M — which would require all high-rise buildings to be retrofitted — has not been adopted, an existing unsprinklered high-rise must be sprinklered if any of three conditions applies: it has an occupied floor more than 36 m above the lowest level of fire department vehicle access; or it has occupied floors between 23 m and 36 m and lacks two interior exit stairways separated by two-hour construction; or it has occupied floors between 23 m and 36 m and lacks a fire alarm system with smoke detection in mechanical, electrical, transformer and telephone equipment rooms, corridors, elevator lobbies and at doors penetrating interior exit stairway enclosures. The owner must file a compliance schedule within 365 days of written notice, and the retrofit must be completed within twelve years. This is incrementalism made explicit: rather than choosing between retrofitting every high-rise and retrofitting none, the code targets the buildings where height combines with an absent second safeguard.

Standpipes (Section 1103.6) are required where occupied floors are more than 15 m above or below the lowest level of fire department access, with the pragmatic allowance that the fire official may accept a manual standpipe where the responding fire department can supply the required flow at the highest outlet.

Fire alarm and detection (Sections 1103.7 and 1103.8) are required retroactively in Groups E, I-1, I-2, I-3, R-1 and R-2, each with thresholds and exceptions calibrated to the occupancy — a manual fire alarm system in existing hotels and motels more than one story in height or with more than 20 sleeping units, for instance, or in Group R-2 buildings more than three stories or with more than 16 dwelling units. Single-

and multiple-station smoke alarms are required in Groups I-1 and R, with interconnection required where more than one alarm serves a unit and listed wireless interconnection expressly accepted — a provision that removes the most common practical objection to retrofitting. Carbon monoxide detection (Section 1103.9) is required in Groups I-1, I-2, I-4 and R and in Group E classrooms where the relevant fuel-burning or vehicle-related conditions exist.

Other provisions address in-building two-way emergency responder radio coverage (Section 1103.2), existing elevator emergency operation to ASME A17.3 (Section 1103.3), waste and linen chutes and flue-fed incinerators (Sections 1103.4.9 and 1103.4.10), medical gases (Section 1103.10), and fire apparatus access to outdoor tire storage yards (Section 1106).

Section 1104 then rewrites the means of egress requirements for existing buildings, and this is where the chapter's philosophy is clearest. It does not ask an existing building to meet the egress standard for new construction. It asks it to meet a defined lower standard, stated numerically, so that the compromise is explicit and inspectable rather than left to judgement. Existing stairways may remain where the rise does not exceed 200 mm and the run is not less than 225 mm. Egress doors require a clear width of 700 mm rather than the 800 mm demanded of new construction. Handrails are required on one side rather than both, with all portions of the required width within 1100 mm of a handrail, at a height anywhere between 750 mm and 1100 mm. Guards must be 1000 mm high, but existing guards on the open sides of stairways may remain at 750 mm and those within dwelling units at 900 mm. Emergency egress illumination must be sustained for 60 minutes rather than 90. Egress ramps may slope at 1:10. Fire escape stairways — prohibited in new construction — may continue to serve up to 50 percent of the required exit capacity, provided they are of noncombustible construction, support a live load of at least 4.78 kN/m², and are examined for structural adequacy by a registered design professional every five years. Section 1104.1 sets the governing principle: where the chapter conflicts with the building code that applied at the time of construction, the most restrictive provision applies.

Section 1105 adds a further, more demanding layer for existing Group I-2 occupancies, because the defend-in-place strategy on which hospitals and nursing homes depend cannot tolerate the same compromises. Each story used for patient sleeping with an occupant load of more than 30 patients must be subdivided into at least two smoke compartments, each containing a refuge area sized at 2.8 m² for every care recipient confined to a bed or stretcher, 1.4 m² for each resident using a mobility assistance device and 0.56 m² for every other occupant. Corridors in patient care areas must resist the passage of smoke, with corridor doors of 44 mm solid bonded-core wood or one-third-hour rating, an undercut not exceeding 25 mm, positive latching resisting at least 22 N, and roller latches expressly prohibited. Corridors used for bed movement must be 1200 mm clear — against 2400 mm for new construction — and dead-end corridors in smoke compartments containing patient sleeping and treatment rooms may not exceed 9 m.

METHOD TWO: THE PERFORMANCE AND COMPLIANCE-ALTERNATIVE ROUTE — SBC 901

The retroactive floor of SBC 801 Chapter 11 is a minimum, not a ceiling, and it is only one of the two codes an existing building may encounter. SBC 901, the Saudi Existing Building Code, governs work: repairs, alterations, additions, changes of occupancy and relocation. Its logic is proportionality. Rather than demanding full compliance whenever a building is touched, it classifies the work and scales the obligation to it, through a prescriptive method and a work-area method in which alteration levels determine which provisions are triggered.

For the buildings where neither prescriptive route is workable, SBC 901 provides a performance compliance method — the evaluation procedure to which SBC 801 Section 1104.1 expressly directs the user, and which is the most intellectually interesting part of the Saudi framework. Instead of asking whether a building complies, it asks whether the building is, on balance, as safe as one that does. The building is scored against twenty-one safety parameters: building height and number of stories, building area, compartmentation, tenant and dwelling unit separations, corridor walls, vertical openings, HVAC systems, automatic fire detection, fire alarm systems, smoke control, means of egress capacity and number, dead ends, maximum exit access travel distance, elevator control, means of egress emergency lighting, mixed occupancies, automatic sprinklers, standpipes, incidental uses, smoke compartmentation, and — for Group I-2 — patient ability, concentration and attendant ratio. Each parameter yields a value that may be positive or neg-

ative, and the values are combined into three composite scores: fire safety, means of egress and general safety. Each composite must equal or exceed a mandatory safety score set for the occupancy. If any of the three comes out negative, the building does not comply.

The practical consequence is that a genuine strength can pay for a genuine weakness, but only within the same safety objective and only to a limit fixed in advance by the code rather than negotiated case by case. A building with an excessive travel distance cannot simply be waved through; it must demonstrate compensating value in the same category. This is a disciplined form of equivalency, and it is particularly valuable for buildings whose construction features are concealed or inaccessible, where the alternative — opening up the fabric to prove compliance — is destructive and expensive.

THE THIRD METHOD, HIDDEN IN PLAIN SIGHT: SPRINKLERS AS CURRENCY

Read Chapter 11 end to end and one mechanism recurs more than any other. Vertical openings connecting three to five stories: one-hour construction or sprinklers. Escalator openings: one-hour construction or sprinklers with a draft curtain. Elevator emergency operation retrofit: not required if the building is sprinklered. Corridor construction and opening protection: not required if the building is sprinklered. Opening protectives near fire escapes: not required if the building is sprinklered. Travel distances and common path limits in Table 1104.18: extended where the building is sprinklered. Corridor doors in Group I-2: unrated where the building is sprinklered.

This is not incidental drafting. It is a deliberate economic instrument. The code takes the single measure that most reliably changes fire outcomes and makes it the means by which an owner can discharge a long list of other obligations that are individually expensive, individually disruptive, and individually less effective. An owner facing a demand to enclose every shaft in a six-story building is presented with an alternative that is frequently cheaper, always less destructive of the existing fabric, and demonstrably better for life safety. The commentary to Section 1103.3.2 is explicit that exceptions of this kind exist to provide an incentive to install sprinkler systems.

For anyone drafting existing-building provisions in any country, this is the transferable idea. Retroactive requirements are resisted because they are experienced as pure cost. Trading them against a measure the owner can see the value of converts a compliance burden into a decision, and the decision tends to go the right way.

POSITIONING AGAINST INTERNATIONAL PRACTICE

The Saudi framework will look familiar to readers of the International Fire Code, whose Chapter 11 has the same title and the same structure, and of the International Existing Building Code, whose performance compliance methods supply the evaluation procedure described above. Saudi Arabia has adopted the architecture and then made national decisions within it: Section 1103.5.1, requiring retroactive sprinklers in certain Group A-2 occupancies, is marked “Not applicable to KSA,” and the high-rise retrofit trigger, the adoption or otherwise of Appendix M, and the compliance timetables are all national determinations.

The contrast with the European approach is instructive. Europe has no equivalent consolidated retroactive instrument. EN 12845 and its companion standards specify how a sprinkler system shall be designed, installed and maintained, and national fire codes decide when one is required — but the decision to impose a requirement on an already-occupied building is left to national regulation, and in most member states that decision is made sparingly and usually only when work is being done. NFPA 101, by contrast, does have a directly comparable concept: separate chapters of requirements for new and existing occupancies, applying to existing buildings on their own terms. Where the Saudi approach differs from both is in the combination of a single consolidated retroactive chapter, a legally mandated national application law behind it, and a published commentary that records the reasoning for every compromise. That combination is unusual and, for a country undertaking this exercise for the first time, worth studying.

CONCLUSION

Saudi Arabia's treatment of existing buildings is best understood not as a retrofit mandate but as a graduated system with three routes to the same objective. SBC 801 Chapter 11 sets a hard, self-executing floor that applies to every existing building whether or not work is being done, consolidated into one chapter for enforceability and implemented through owner notification and agreed compliance schedules rather than immediate correction. SBC 901 scales obligations proportionately to the work actually undertaken, and offers a numerical performance evaluation for buildings that cannot demonstrate literal compliance. Running through both is the systematic use of automatic sprinkler protection as the currency in which other deficiencies are settled.

None of this makes an existing building equivalent to a new one, and the code does not pretend otherwise. What it does is state precisely how much less is acceptable, in numbers, so that the compromise is visible, inspectable and consistent across the Kingdom — and it gives the owner a route to compliance that is affordable enough to be taken. For jurisdictions with large pre-code building stocks, those two properties matter more than the stringency of any individual requirement. A demanding rule that is never enforced protects nobody; a modest rule with a credible timetable and an affordable path changes the building stock.

REFERENCES

[1] SBC 801-CC-2024, The Saudi Fire Protection Code — Code and Commentaries, Saudi Building Code National Committee, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia, 2024.

[2] SBC 801-CR-2024, The Saudi Fire Protection Code — Code Requirements, Saudi Building Code National Committee, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia, 2024.

[3] SBC 201, Saudi Building Code — General, Saudi Building Code National Committee, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.

[4] SBC 901, The Saudi Existing Building Code, Saudi Building Code National Committee, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.

[5] Council of Ministers Resolution No. 174 of 1422H (2001), establishing the National Committee for the Saudi Building Code; Council of Ministers Resolution No. 279 of 1425H (2004), establishing the Saudi Building Code; Saudi Building Code Application Law, Royal Decree, 2017.

[6] International Fire Code, International Code Council, Washington, DC, USA.

[7] International Existing Building Code, International Code Council, Washington, DC, USA.

[8] NFPA 13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.

[9] NFPA 72, National Fire Alarm and Signaling Code, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.

[10] NFPA 99, Health Care Facilities Code, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.

[11] NFPA 101, Life Safety Code, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.

[12] NFPA 914, Code for the Protection of Historic Structures, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.

[13] ASME A17.3, Safety Code for Existing Elevators and Escalators, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

CURRICULUM VITAE

Abdullah M. Elrefai

Abdullah M. Elrefai is the Technical Office Manager of Aljarba Consulting Company in the Kingdom of Saudi Arabia, where he is responsible for the technical office function across the company's projects, including the application of the Saudi Building Code to design and to the assessment of existing buildings. His work covers code compliance review, fire protection and life safety requirements, and coordination with the authorities having jurisdiction. [Bachelor degree in mechanical engineering, more than 8 years of experience, professional memberships in the Saudi Council of Engineers and NFPA, worked at many mega projects such as (KAFD-Saudi ports-Madina Airport- …. etc.)]

Mustafa Fares

Mustafa Fares is the Chief Executive Officer of Aljarba Consulting Company in the Kingdom of Saudi Arabia. He leads the firm's engineering consultancy practice and carries overall responsibility for its technical direction and for the quality of the work it issues, across design, design review and the assessment of existing buildings under the Saudi Building Code. In that role he oversees the multidisciplinary teams that deliver the firm's projects, sets the internal standards by which compliance with the code is verified before submission, and represents the company in its dealings with clients and with the authorities having jurisdiction. [Bachelor degree in Mechatronics, with more than 15 years of experience, professional memberships in the Saudi Council of Engineers.]

DÜNYADAKİ NÜKLEER SANTRALLERDE YAŞANAN KAZA VE YANGINLARIN TARİHİ

Aleksandr Sergeyeviç GUDKOV

ÖZET

Nükleer enerji, ticari kullanımda olduğu yetmiş yılı aşkın süre boyunca küresel elektrik üretiminde kritik bir rol oynamış ve güvenlik alanında önemli bir gelişim kaydetmiştir. Buna karşın, tasarım hataları, insan faktörü ve dış tehditlerin öngörülememesi gibi nedenler, tarih boyunca büyük sistemsel arızalara ve yıkıcı kazalara yol açmıştır. Günümüzde nükleer enerji yatırımlarının hızla artması, geçmişte yapılan hatalardan ders çıkarılmasını ve nükleer kaza geçmişinin bilimsel bir yaklaşımla analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, dünya genelindeki nükleer güç santrallerinde (NGS) meydana gelen büyük kazalar ve yangınlar, Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) kriterlerine göre kronolojik olarak ele alınmaktadır. Erken dönem deneysel reaktörlerden Çernobil ve Fukuşima gibi modern dönemin en büyük felaketlerine kadar uzanan tarihsel süreç, deterministik ve olasılıksal yöntemlerle incelenmektedir. Araştırma kapsamında, nükleer tesislerde yaşanan 20 büyük kazanın kök nedenleri analiz edilerek teknik arızalar ile insan kaynaklı hataların dağılımı ortaya konmakta; reaktör tiplerine göre yangın riskleri ve sıklığı James Reason'ın «İsviçre Peyniri Modeli» ile değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Nükleer güç santrali, nükleer kazalar, yangın geçmişi, INES ölçeği, İsviçre peyniri modeli

THE HISTORY OF THE ACCIDENTS AND FIRES IN THE NUCLEAR POWER PLANTS AROUND THE WORLD

ABSTRACT

Nuclear power has played a critical role in global electricity generation over its more than seventy years of commercial use and has made significant progress in the field of safety. On the other hand, factors such as design flaws, human errors, and the inability to foresee external threats have led to major systemic failures and devastating accidents throughout history. Today, the rapid increase in nuclear energy investments makes it imperative to learn from past mistakes and analyze the history of nuclear accidents with a scientific approach.

In this study, major accidents and fires occurring in nuclear power plants (NPPs) worldwide are chronologically discussed according to the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) criteria. The historical process, extending from early experimental reactors to the largest disasters of the modern era like Chernobyl and Fukushima, is examined through deterministic and probabilistic methods. Within the scope of the research, the root causes of 20 major accidents in nuclear facilities are analyzed to reveal the distribution of technical failures and anthropogenic errors; furthermore, fire risks and frequencies by reactor types are evaluated using James Reason's "Swiss Cheese Model."

Key words: Nuclear power plant, nuclear accidents, history of fires, INES scale, Swiss cheese model

1- GİRİŞ

Nükleer enerji üretimi, 2020'li yıllarda küresel elektrik arzının yaklaşık %10'unu karşılar hale gelmiştir. Bu oran, ticari işletmelerin yetmiş yıllık geçmişi boyunca elde ettiği 18500 reaktör-yılı işletme deneyimine karşılık gelmektedir ki bu da 400'den fazla enerji ünitesinin toplam çalışma süresiyle kıyaslanabilir bir büyüklüktür. Bu süreçte nükleer güç santrali (NGS) personelinin ortalama radyasyon dozları 1990-2020 döneminde yarı yarıya azalmış ve güvenlik alanında önemli kazanımlar elde edilmiştir. Buna karşın diğer taraftan, sistemsel hataları ortaya çıkaran felaket niteliğinde olaylar da yaşanmıştır; RBMK tipi reaktörlerin tasarım kusurlarından kaynaklanan pozitif boşluk katsayısı ve Fukuşima felaketini tetikleyen tsunami gibi dış tehditlerin önemsenmemesi bu duruma örnek sayılabilir.

Nükleer kazaların tarihi, yalnızca teknik arızaların kayıtlı bir listesinden ziyade, paradoksal bir düzenliliğin yansımasıdır: Yaşanan her büyük felaket, o güne kadar güvenilir kabul edilen güvenlik sistemlerindeki kör noktaları geriye dönük olarak görünür kılmaktadır. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği›ne (INES) göre 7. seviyede yer alan Çernobil (1986) ve Fukuşima (2011) felaketleri, rastlantısal sapmalar değil, sistemsel kusurların belirtileridir.

Bu noktada kritik sorular şunlardır: Modern nükleer endüstri; tasarım ve işletme kararlarındaki potansiyel zafiyetleri proaktif biçimde tespit etmek amacıyla dijital teknolojilerden, olasılıksal güvenlik analizlerinden ve havacılık, kimya, petrol-gaz gibi diğer sektörlerin deneyimlerinden nasıl yararlanabilir? Endüstri, güvenlik gelişiminin felaket niteliğindeki olaylara olan bağımlılığını bu sayede nasıl en aza indirebilir?

Kaza tarihinin sistematik olarak incelenmesi, geçmişteki hataların tekrarlanmasını önlemek adına hayati bir ders çıkarma gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle 2030 yılına kadar küresel nükleer kapasitenin yarısının işletileceği Asya ülkelerinde planlanan nükleer enerji genişlemesi bağlamında büyük önem taşımaktadır.

Araştırmanın metodolojik yaklaşımı, inceleme konusunun kendine has doğasından (nadir görülen ancak sonuçları itibarıyla felaket niteliğindeki olayların tarihinden) kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, belirli kazaların deterministik analizi ile (IAEA, NRC ve TEPCO'nun resmi soruşturmalarına dayanan neden-sonuç zincirlerinin yeniden inşası) 18500'den fazla reaktör-yıllık işletmeyi kapsayan WANO istatistiklerine dayalı tekrarlanma riskinin olasılıksal değerlendirmesinin birleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu kombinasyon, hem Çernobil ve Fukuşima felaketlerinden önce var olan "sıfır risk" şeklindeki istatistiksel yanılsamadan kaçınmayı hem de münferit olayların abartılmasının önüne geçmeyi mümkün kılmaktadır.

Çalışmada, ulusal nükleer olay değerlendirmelerinin birbiriyle karşılaştırılamaması sorununu çözmek amacıyla IAEA tarafından 1990 yılında uygulamaya konulan INES olay derecelendirme sistemi kullanılmıştır. Ölçeğin sekiz seviyeli yapısı (0-7), sonraki her seviyenin bir öncekine kıyasla yaklaşık on kat daha ciddi sonuçlar doğurduğu logaritmik bir ilerlemeyi yansıtmaktadır.

2- NÜKLEER KAZALARIN KRONOLOJİSİ VE SINIFLANDIRILMASI

Erken Dönem (1952-1970'ler): Bilginin Parçalı Niteliği

Nükleer bir tesiste belgelenen ilk kaza, 12 Aralık 1952 tarihinde Kanada'nın Chalk River kentindeki NRX araştırma reaktöründe meydana gelmiştir. Acil durdurma çubuklarının arızalanması ile işletme personelinin hatalarının bir araya gelmesi, reaktör gücünün kontrolsüz şekilde artmasına neden olmuştur. Bu durum, aktif bölgenin erimesine ve reaktör kabında bir hidrojen patlamasına yol açmıştır (olay geriye dönük olarak INES ölçeğinde 5. seviye olarak sınıflandırılmıştır).

Aynı tesiste 1958 yılında, bu kez NRU reaktöründe meydana gelen ikinci kaza ise birkaç uranyum yakıt elemanının aşırı ısınması ve hasar görmesinden kaynaklanmıştır. Hasarlı elemanlardan birinin robotik vinçle çıkarılması sırasında metalik uranyum havada tutuşmuş ve üç metrelik yanan yakıt parçası servis kuyusuna düşmüştür.

Kıştım Kazası (Mayak Kimya Kombinası, SSCB, 29 Eylül 1957)

Bu olay, bir nükleer güç santrali (NGS) kazası olmamakla birlikte nükleer tarihin en büyük felaketlerinden biridir (INES ölçeğine göre 6. seviye). Radyoaktif atık deposunda meydana gelen patlama, 20 milyon (bazı kaynaklara göre 50 milyona kadar) Curie (Ci) radyoaktivite salınımına ve 23000 ila 52000 km² arasında bir alanın kirlenmesine yol açmıştır. Kazanın etkilerini tasfiye etme çalışmalarına Mayak kombinası çalışanları, askeri personel ve inşaatçılardan oluşan yaklaşık 38500 kişi katılmıştır. Bu personelin yaklaşık 10500'ü, 25-30 röntgenden başlayıp 100 röntgen ve üzerine varan yüksek dozlarda radyasyona maruz kalmıştır. Kıştım Felaketi olarak da bilinen bu olay, 1980'lerin sonuna kadar kamuoyundan gizli tutulmuştur.

Windscale Yangını (Büyük Britanya, 10 Ekim 1957)

İngiltere›deki Windscale tesisinde meydana gelen bu olay, bir üretim reaktöründe yaşanan ilk büyük kazadır (INES ölçeğine göre 5. seviye). Kaza sırasında 1300 °C sıcaklıkta 10 tondan fazla uranyum tutuşmuş ve çıkan yangın üç gün boyunca devam etmiştir. Başta iyot-131 olmak üzere radyonüklitlerin atmosfere salınımı, bacalara sonradan eklenen Cockcroft's Follies olarak adlandırılan filtreler sayesinde kısmen önlenmiştir.

SL-1 Kazası (ABD, 3 Ocak 1961)

Bu olay, ABD tarihinde bir nükleer reaktörde anında can kaybına yol açan tek kazadır. Idaho'daki deneysel askeri reaktörde (SL-1) meydana gelen bir buhar patlaması sonucu üç çalışan hayatını kaybetmiş ve toplamda 790 kişi radyasyona maruz kalmıştır. Bu olay, kontrol eksikliği durumunda küçük araştırma reaktörlerinin insan faktörü karşısındaki zafiyetini açıkça göstermiştir.

1960'lı yıllarda art arda yaşanan bir dizi olay; nükleer enerjinin gelişiminin erken dönemine özgü karakteristik bir düzenliliği ortaya koymaktadır. Bu olaylar arasında Santa Susana (1959, aktif bölge erimesi), Charlestown (1964, kritiklik kazası), Monroe (1966, sodyum soğutma arızası), Chapelcross (1967, grafit kalıntısı nedeniyle kanal tıkanması) ve Lucens (1969, buhar salınımı) yer almaktadır. Farklı ülkelerde meydana gelen bu kazaların ortak paydası; güvenlik kültürü yetersizliği ve nükleer sektör uzmanları arasındaki sistematik bilgi alışverişi eksikliğidir. Çeşitli tetikleyici unsurlarla başlayan bu kazalar, dönemin gelişim sürecindeki zayıf noktaları gözler önüne sermiştir.

Greifswald NGS Kazası (DAC, 7 Aralık 1975)

Greifswald Nükleer Güç Santrali'nde (VVER-440) meydana gelen yangın, sosyalist ülkelerin nükleer enerji tarihindeki en tehlikeli olaylardan biridir. Başlangıçta 4. seviye olarak sınıflandırılan ancak daha sonra INES ölçeğinde 3. seviyeye alınan bu olay, 1989 yılına kadar gizli tutulmuştur. Kazayı tetikleyen unsur «insan faktörü» kaynaklıydı. Türbin dairesinde çıkan kablo yangını, altı ana sirkülasyon pompasından beşinin elektrik beslemesini ve kontrol sistemini tamamen devre dışı bırakmıştır. Doğrudan zararı yaklaşık 519 milyon doları bulan bu kazada, acil durum elektrik beslemesi devreye sokularak soğutma pompalarının çalışması son anda yeniden sağlanabilmiştir. IAEA, Sovyet makamları tarafından birkaç saat içinde bilgilendirilmiş, ancak kamuoyuna açıklama ancak 1989'da yapılmıştır.

Ticari NGS'lerde Büyük Kazalar Dönemi (1979-1990›lar)

Three Mile Island Kazası (ABD, 28 Mart 1979)

Three Mile Island (TMI-2) nükleer santralinde yaşanan bu olay, Batı dünyasında ticari bir nükleer güç santralinde meydana gelen ilk ciddi kazadır (INES ölçeğine göre 5. seviye). TMI-2 kazası, 1970'li yılların güvenlik felsefesindeki temel bir çelişkiyi gözler önüne sermektedir. Dönemin mühendisleri, büyük bir kazanın yaşanmasını imkânsız kılacağı düşünülen, birbirini yedekleyen güvenlik devrelerine sahip çok katmanlı bir

koruma sistemi tasarlamışlardı. Ancak insan-makine arayüzü, işletme personelinin acil durumlarda bilgiyi algılama ve işleme kapasitesi dikkate alınmadan tasarlanmıştı.

Aktif bölgenin (reaktör kalbi) felaket boyutunda hasar görmesine (yaklaşık yüzde 50'sinin erimesine) rağmen, kazanın radyolojik sonuçları, sağlam kalan son bariyer konumundaki koruma kabuğu sayesinde asgari düzeyde kalmıştır. Çernobil kazasındaki 50 ila 200 milyon Curie (Ci) düzeyindeki devasa salınıma karşılık, TMI-2 kazasında yaklaşık 15 Ci iyot-131 atmosfere sızmıştır. Buna karşın ekonomik zarar 2 milyar doları aşmış ve bu olay ABD'deki yeni nükleer güç santrali inşaatlarını yaklaşık 30 yıl boyunca fiilen durdurmuştur.

Çernobil Felaketi (SSCB, 26 Nisan 1986)

Çernobil, 2011 yılına kadar INES ölçeğinde 7. seviyede yer alan tek kaza olup, 20. yüzyılın en büyük sanayi felaketidir. RBMK-1000 reaktörlü dördüncü enerji ünitesinde, turbo-jeneratörün serbest dönüş süresini test etmeye yönelik bir deney sırasında; tasarım kusurlarının, işletme talimatları ihlallerinin ve örgütsel-kültürel faktörlerin kritik biçimde çakışmasıyla bir olaylar zinciri meydana gelmiştir. Deney planı reaktör gücünün 700-1000 MW seviyesine düşürülmesini gerektirirken, yaşanan gecikmeler ve personel hataları nedeniyle güç aniden 30 MW'a kadar gerilemiştir. Bu durum, reaktör reaktivitesini keskin biçimde azaltan ksenon-135 zehirlenmesine, yani nükleer literatürde "iyot çukuru" olarak bilinen duruma yol açmıştır. İşletme personeli bu düşüşü telafi etmek amacıyla prosedürleri kaba biçimde ihlal ederek, izin verilen asgari sınır olan 30 kontrol çubuğu yerine aktif bölgede yalnızca 6-8 çubuk bırakıp diğer tüm çubukları yukarı çekmiştir. Gücü yeniden artırma girişimi sırasında, Sovyet VVER, Amerikan PWR (Basınçlı Su Reaktörü) ve Japon BWR (Kaynar Su Reaktörü) gibi hafif su soğutmalı reaktörlerde bulunmayan, RBMK reaktörlerine özgü temel bir tasarım kusuru devreye girmiştir. RBMK'nin pozitif boşluk reaktivite katsayısı, pozitif bir geri besleme mekanizması yaratarak gücün kontrolsüz şekilde tırmanmasına neden olmuştur (güç artışı \ suyun buharlaşması \ nötron soğurulmasının azalması \ gücün daha da artması).

Bu tehlikeli durum, acil durdurma çubuklarının "uç etkisi" sebebiyle daha da kötüleşmiştir; çubukların grafit uçları aktif bölgeye girerken, reaktiviteyi ilk anda bastırmak yerine tam aksine artırmış ve bu durum felaketin tetikleyici mekanizması olmuştur. Saat 01:23:40'ta reaktör gücü nominal değerin 100 katını aşarak (hesaplamalara göre yaklaşık 33000 MW) şiddetli bir buhar patlamasına yol açmıştır. Bu patlama, üst biyolojik korumayı (1000 ton ağırlığındaki reaktör kapağını) yerinden sökmüş; hemen ardından gerçekleşen ikinci bir patlama ise (hidrojen veya buhar-gaz karışımı kaynaklı) kızgın yakıt ve grafit parçalarını santral sahasına ve türbin dairesinin çatısına fırlatmıştır. Türbin dairesi çatısındaki ve komşu binalardaki yangınlar saat 02:10-02:20 civarında sınırlandırılmış, 26 Nisan sabahı saat 05:00'e kadar da tamamen söndürülmüştür. Tahrip olan reaktörün aktif bölgesindeki grafit yanması 10 Mayıs 1986'ya kadar sürmüş, reaktörün üzeri helikopterlerden dökülen dolomit, kum, kurşun ve bor karışımıyla kapatılmıştır. Bu süreç, artık kazanın etkilerini tasfiye etme aşamasına aittir.

Kazayla birlikte atmosfere salınan radyonüklit miktarı yaklaşık 500 Hiroşima atom bombasına eşdeğerdir. Çevreye yayılan 50 ila 200 milyon Curie (Ci) seviyesindeki radyoaktivite (iyot-131, sezyum-137, stronsiyum-90 ve plütonyum-239) başta Ukrayna, Belarus ve Rusya olmak üzere birçok Avrupa ülkesine dağılmıştır. Kazanın akut aşamasında, patlamayı takip eden ilk 3 ay içinde, akut radyasyon hastalığı ve ağır yaralanmalar sonucu büyük kısmı itfaiyeci ve işletme personelinden oluşan 31 kişi hayatını kaybettmiş, 200'den fazla kişi ise ciddi radyasyon hasarına maruz kalmıştır. Olayın ardından, kazadan 36 saat sonra tahliye edilen 50000 nüfuslu Pripyat şehri de dâhil olmak üzere, 30 kilometrelik yarıçaptaki bölgeden toplam 116000 kişi uzaklaştırılmıştır. Daha sonra sınırları genişletilen dışlama bölgesi günümüzde 2600 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çernobil felaketi; RBMK'nin pozitif boşluk katsayısından sızdırmaz bir koruma kabuğunun (konteynman) bulunmamasına, acil durdurma çubuklarının uç etkisinden personel eğitimindeki yetersizliklere kadar tasarımsal ve örgütsel tüm sistemik kusurları açığa çıkarmıştır. Bu felaket, dünyada halen işletmede olan diğer RBMK reaktörlerinin modernizasyonunu (hızlı acil durdurma sistemlerinin kurulması ve yakıtın ek zenginleştirilmesiyle boşluk etkisinin azaltılması) başlatmış ve küresel ölçekte nükleer deneyim paylaşım mekanizmalarının kurulmasında katalizör görevi görmüştür.

Modern Dönem (2000'ler -- günümüz)

Tokaimura Kazası (Japonya, 30 Eylül 1999)

Japonya'nın Tokaimura kentindeki bir nükleer yakıt işleme tesisinde meydana gelen bu olay, nükleer yakıt döngüsünde kritik kütle oluşumuyla sonuçlanan ciddi bir kazadır (INES ölçeğine göre 4. seviye). Çalışanların uranyum zenginleştirme prosedürlerini ihlal etmesi, karıştırma tankında kendiliğinden nükleer zincirleme reaksiyon başlamasına yol açmıştır. Kaza anında iki çalışan ölümcül dozlarda (17 ila 20 Sievert [Sv]) radyasyona maruz kalarak üç ay içinde hayatını kaybetmiş, üçüncü çalışan ise ağır radyasyon hasarı (1 ila 4,5 Sv) görmüştür. Olay nedeniyle çevredeki toplamda yaklaşık 660 kişi farklı seviyelerde radyasyona maruz kalmıştır. Bu trajedi; nükleer yakıt döngüsü tesislerinin örgütsel faktörlere, özellikle de güvenlik kültürünü feda ederek her ne pahasına olursa olsun üretim hedeflerine ulaşma baskısına karşı olan zafiyetini açıkça ortaya koymuştur.

Paks Kazası (Macaristan, 2003)

Temizlik işlemleri sırasında yakıt demetlerinin (kartuşlarının) hasar görmesiyle sonuçlanan bu olay, nükleer literatürde ciddi bir olay olarak sınıflandırılmıştır (INES ölçeğine göre 3. seviye). Kaza sonucunda meydana gelen radyoaktivite salınımı, çevreye yayılmamış ve tamamen tesis sınırları içinde kalmıştır.

Fukuşima-1 Kazası (Japonya, 11 Mart 2011)

Fukuşima Daiichi kazası, nükleer tarihte doğrudan doğal bir afet nedeniyle meydana gelen ve INES ölçeğinde 7. seviyede sınıflandırılan ikinci büyük felakettir. 9.0 büyüklüğündeki Büyük Doğu Japonya Depremi ve ardından kıyıyı vuran 14-15 metre yüksekliğindeki tsunami dalgaları, Kaynar Su Reaktörlü (BWR) üç enerji ünitesinde ağır bir kazaya yol açmıştır. Three Mile Island (TMI) ve Çernobil felaketlerinin ardından nükleer endüstri, iç arızalara dayanıklı sistemler tasarlamayı öğrenmiş olsa da ortak nedene bağlı aşırı dış etkiler (common-cause external hazards) olgusu kavramsal olarak yeterince değerlendirilmemiştir. Kazanın gelişimi, dış elektrik beslemesinin ve acil durum yedek kaynaklarının aynı anda kaybedilmesiyle belirlenmiştir. Bu senaryonun eş zamanlı olarak üç enerji ünitesinde birden yaşanması, ortak nitelikteki aşırı dış faktörlerin etkisi altında güvenlik sistemlerinin bağımsızlığı kavramının ne kadar kırılgan olduğunu göstermiştir.

Ünitelerde yaşanan süreçler kronolojik ve teknik olarak şu şekilde gelişmiştir:

- **1. Ünite**: Tüm elektrik kaynaklarının kaybedilmesi acil soğutma sistemi pompalarını durdurmuştur. Kazadan 3 saat sonra reaktör kalbinin (aktif bölgenin) açığa çıkması başlamış; 5 saat sonra ise 1200 °C'nin üzerindeki yakıt kaplama sıcaklıklarında etkinleşen zirkonyum-buhar reaksiyonu nedeniyle yoğun bir hidrojen salınımı meydana gelmiştir. 12 Mart günü saat 15:36'da yaşanan hidrojen patlaması, reaktör binasının koruma kabuğunun üst kısmını tahrip etmiş ve aktif bölgenin %70'inden fazlası erimiştir.

- **2. Ünite**: 15 Mart sabahı koruma kabuğunda meydana gelen hidrojen patlaması, dış reaktör binasının basınç bastırma havuzu (torus) bölgesinde kısmi sızdırmazlık kaybına yol açmıştır. Aktif bölgenin erimesi, reaktör kabı tabanının delinmesine ve çevreye radyoaktivite salınmasına neden olmuştur.

- **3. Ünite**: 14 Mart günü saat 11:01'de meydana gelen hidrojen patlaması, reaktör binasının üst yapılarını tamamen tahrip etmiştir. Bu patlama, şiddet bakımından 1. Ünitedekinden önemli ölçüde daha güçlü olmuştur.

- **4. Ünite**: Kaza sırasında (29 Kasım 2010'dan itibaren) yakıt ikmali aşamasında olan ve işletilmeyen reaktörde, 15 Mart günü saat 06:14'te bina üst kısmını tahrip eden ve duvarlarda büyük delikler açan bir hidrojen patlaması gerçekleşmiştir.

Tüm ünitelerdeki havuzlarda bulunan kullanılmış yakıtların aşırı ısınması, ikincil bir radyoaktif salınım tehdidi oluşturmuştur. Fukuşima kazası öncesinde kullanılmış yakıt havuzları düşük riskli yardımcı tesisler ola-

rak değerlendirilirken; bu kaza, soğutma kaybı durumunda kullanılmış yakıtların da büyük birer salınım kaynağı haline gelebileceğini kanıtlamıştır. Aktif bölgenin ve kullanılmış nükleer yakıtların tamamen erimesini önlemek amacıyla havuzlara su dökmek için helikopterler, sürekli soğutma suyu sağlamak için ise itfaiye tankerleri kullanılmıştır.

3- RADYOLOJİK SONUÇLAR VE SOSYO-EKONOMİK ETKİLER

Kazanın ardından santralin 20-30 kilometrelik yarıçapındaki bölgeden 154000 ila 160000 arasında insan tahliye edilmiştir. Atmosfere, Çernobil kazasındaki radyoaktivite düzeyinin %10-20'sine denk gelen (50-200 milyon Curie'ye karşılık 5-10 milyon Curie) düzeyde bir salınım gerçekleşmiş; bu durum geniş çaplı toprak ve okyanus kirlenmesine yol açmıştır. Nitekim kaza sonrası ilk 6 gün içinde okyanusa yaklaşık 30.000 ton radyoaktif su boşaltılmıştır. Günümüzde 1150 km²'lik bir alan dışlama bölgesi olarak varlığını sürdürmektedir. Tesis çalışanlarından 50 kişi 100 mSv'nin, 6 kişi ise 250 mSv'nin üzerinde radyasyon dozuna maruz kalmıştır.

Fukuşima kazasının paradoksal sonucu, Çernobil'deki 31 kurbanın aksine, halk ve personel arasında doğrudan radyasyona bağlı akut bir ölümün yaşanmamış olmasıdır. Buna karşın sosyo-ekonomik ve psikolojik kayıplar çok daha ağır olmuştur: 160000 kişinin ani tahliyesi ve tıbbi bakım hizmetlerinin kesintiye uğraması nedeniyle yaşlılar arasında yaklaşık 1600 ölüm meydana gelmiş; aşırı stres ve intiharlar sebebiyle de yaklaşık 2000 kişi hayatını kaybetmiştir. Kazanın toplam ekonomik zararı ise 200 milyar doları aşmıştır.

Fukuşima felaketi; nükleer tesislerin dış etkilere karşı kritik zafiyetlerini, acil durum sistemlerinin yerleşimindeki eksiklikleri ve en önemlisi örgütsel kusurları açığa çıkarmıştır. İşletmeci firma TEPCO mühendislerinin koruma bendi yüksekliğinin yetersiz olduğuna ilişkin verileri gizlemesi, ekonomik tasarrufun güvenlik ilkelerinin önüne koyulduğunu göstermiştir. Bu felaket; iklim değişikliği, aşırı sismik faaliyetler ve siber saldırılar gibi dış tehditlerin, iç arızalarla eşit düzeyde birer risk analizi nesnesi haline geldiği "dördüncü nesil" güvenlik düzenlemelerine geçişte tarihi bir dönüm noktası olmuştur.

4- SONUÇLAR

Nükleer güç santrallerinde (NGS) meydana gelen 20 büyük ve karmaşık kaza ile yangının nedenleri analiz edildiğinde; teknik faktörler (%33) ile insan kaynaklı (antropojenik) faktörlerin (%30) yaklaşık olarak eşit bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bu durum, James Reason'ın «İsviçre Peyniri Modeli» kavramıyla birebir örtüşmektedir: Büyük bir felaket, ancak teknik arızalar ile insan hatalarının (savunma katmanlarındaki boşlukların) aynı anda çakışması durumunda ortaya çıkmaktadır.

Reaktör tiplerine göre incelenen yangın vakaları ise şu şekilde dağılım göstermektedir: RBMK (6 vaka), VVER (5 vaka), BWR (3 vaka) ve PWR (3 vaka). RBMK tipi reaktörlerin analiz edilen dönem boyunca dünya reaktör parkının %5'inden daha azını oluşturduğu göz önüne alındığında, bu reaktörlerde orantısız derecede yüksek bir yangın sıklığı (20 vakanın 6'sı, yani %30'u) tespit edilmiştir.

5- KAYNAKLAR

[1] NEA, "Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources", OECD Nuclear Energy Agency, Report NEA No. 6861, 2010.

[2] СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ "ЧЕРНОБЫЛЬ", "Хронология радиационных аварий", [Çevrimiçi], Erişim adresi: souzchernobylnsk.ru

[3] IAEA, "INES: Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических

событий", Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2009.

[4] ТИТОВ, С. А., БАРБИН, Н. М., КОБЕЛЕВ, А. М., "Анализ аварийных ситуаций, связанных с пожарами на атомных электростанциях", Пожаровзрывобезопасность, Cilt 30, Sayı 5, ss. 66–75, 2021.

[5] САМОЙЛОВ, О. Б., УСЫНИН, Г. Б., БАХМЕТЬЕВ, А. М., "Безопасность ядерных энергетических установок: учебное пособие для вузов", Москва, Энергоатомиздат, 1989.

[6] МЧС РОССИИ, "Авария на опытной АЭС "SL-1" (США) связанная с разрушением активной зоны", Радиационная безопасность населения РФ, [Çevrimiçi], Erişim adresi: archive.org

[7] U.S. NRC, "Backgrounder on the Three Mile Island Accident", United States Nuclear Regulatory Commission, [Çevrimiçi], Erişim adresi: nrc.gov

[8] АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ, "Об аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд-2»», Атомная энергия, Cilt 47, Sayı 1, s. 28, 1979.

[9] UNSCEAR, "Assessments of the radiation effects from the Chernobyl nuclear reactor accident", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, [Çevrimiçi], Erişim adresi: unscear.org

[10] IAEA, "Авария на АЭС «Фукусима-1». Доклад Генерального директора", Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2015.

6- KISA ÖZGEÇMİŞ

Aleksandr Sergeyevich GUDKOV

Aleksandr Sergeyevich Gudkov, 1956 yılında Moskova'da doğdu. 1973 yılından itibaren içişlerine bağlı kamu kurumlarında görev yapmaktadır; çalışma süresince albay rütbesine yükselmiş ve 1. sınıf aktif devlet danışmanı unvanını almıştır. 1982 yılında SSCB İçişleri Bakanlığı'na bağlı Yüksek Mühendislik İtfaiye-Teknik Okulu'nun "Yangın güvenliği" bölümünden üstün başarıyla mezun oldu; 1996 yılında ise Rusya İçişleri Bakanlığı'na bağlı Moskova Yangın Güvenliği Enstitüsü'nün "Devlet ve Belediye Yönetimi" bölümünden üstün başarıyla mezun oldu. 2008 yılında, nükleer santrallerin yangın ve patlama güvenliğinin otomasyonu konulu tezini savunarak teknik bilimler doktorası derecesini aldı.

Kariyeri boyunca Gudkov, uluslararası düzeyde nükleer tesislerin Yangın güvenliği konularında uzmanlaştı; 1986 Çernobil felaketinin sonuçlarının giderilmesine yönelik çalışmalara bizzat katıldı ve 4. enerji bloğundaki yangının söndürülmesinde aktif rol oynadı. Rusya'da, nükleer santrallerin korunmasından sorumlu birimlerin yönetimi ve kamu tesislerinin güvenlik yönetimi dâhil olmak üzere çeşitli liderlik pozisyonlarında görev yapmış, ayrıca Devlet İtfaiye Akademisi'nin yönetici kadroları fakültesinin başkanlığını yürütmüştür. Uluslararası alanda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı Teknik Komitesi'nde uzman olarak görev yapmış ve nükleer santraller için küresel Yangın güvenliği standartlarının geliştirilmesine katkıda bulunmuştur; Sovyet-Amerikan sivil nükleer reaktörler güvenlik komisyonunda çalışarak her iki ülkedeki nükleer santrallerin denetimlerini gerçekleştirmiştir. Bulgaristan ve Küba'da nükleer santrallerin inşası sırasında Yangın güvenliği kurallarına uyulmasını denetlemiştir. Gudkov, Onur Nişanı ve "Yangında Gösterilen Cesaret" madalyası da dâhil olmak üzere onlarca devlet ve kurum ödülünün sahibidir. Mesleki deneyimini Türkiye'ye taşıyan Dr. Gudkov, "Akkuyu" Nükleer Santrali projesinde yönetici pozisyonunda görev alıyor olup, şu anda "AKKUYU NÜKLEER" A.Ş. Yangın güvenliği Direktörlüğünde Denetleyici ve Önleyici Faliyetler bölüm müdürü olarak çalışmaktadır. Moskova'da yaşamaktadır, evli ve iki çocuk babasıdır.

WHAT HAS CHANGED IN THE REVISION TO EN 12845?

Alan BRINSON

ABSTRACT

prEN 12845-1 is the draft revision of EN 12845:2015+A2:2026 [1]. It has passed the CEN enquiry and the comments have been addressed. The CEN clock ran out while the 4,008 comments were being addressed, so a second enquiry is now being run. This will be a state-of-the-art standard. A first change was to split the standard in two, with EN 12845-2 [2] providing complementary guidance for the design of ESFR and CMSA systems. That standard has been published and amended, with a second amendment in progress. With the publication of EN 12845-3 [3] Europe now has guidance for sprinkler system earthquake bracing. Similarly, the publication of EN 17451 [4] provides guidance for pump set assemblies. As it will still take some time to complete the revision of EN 12845-1, an amendment has been published to introduce references to Parts 2 and 3, and to the pump set standard. This paper will review what else has changed, starting with the new hazard categories and the background behind them. It will explain the relationship between parts 1, 2 and 3, as well as the new pump set standard and pump standard. Many other improvements have been made to introduce new technology and clarify certain areas. One major improvement is the introduction of much greater detail of what to check during periodic inspections. The standard also includes innovations to help avoid corrosion.

Key words: revision of EN 12845, sprinkler hazard analysis, sprinkler system design

SUMMARY

prEN 12845-1 introduces a new hazard categorisation system to permit the inclusion of technology previously only available in American standards and documents. By including knowledge from across Europe it also introduces many new design concepts to protect a much wider range of buildings. Europe is being offered a state-of-the-art standard for the design of sprinkler systems to protect the risks of today, from high-rise apartment buildings to flammable liquid stores, offices, factories and huge warehouses, more economically than in the past. Although the CEN enquiry will close just after the TUYAK conference, many comments have already been addressed.

Introduction

Sprinkler systems are installed to protect life and property, usually either at the insistence of an insurer or to comply with a fire safety code. It is therefore essential that they work. Standards set out how sprinkler systems should be designed and what components should be used to ensure the highest probability that a sprinkler system in a building will work as intended.

This paper begins by making the case for standards and revisions to them. It then sets out the new structure of EN 12845-1, including an introduction to the new hazard categories together with an explanation of their background. Much of the detail in EN 12845-1 regarding pumps has been moved to EN 17451, the pump set standard, which itself refers to EN 12259-12 [5], the pump standard. This is explained. The paper also highlights new technology and clarifications made in certain areas. It introduces the greater detail of the checks during periodic inspections and discusses innovations in the standard to help avoid corrosion.

The new draft EN 12845-1 makes use of test data and knowledge from as many sources as possible, including from NFPA, FM Global, VdS, CNPP, BRE, SP and leading manufacturers.

Purpose of Standards and of their Revisions

Sprinklers were invented in the 19th century to protect property from fire. In the second part of the 20th century they began to be used to protect people from fire. Their effectiveness has been demonstrated in many statistical analyses of real fires and today national fire codes require sprinklers to be installed in many types of buildings. When regulators impose or incentivise the use of sprinklers in fire codes they need a standard to which they can refer, so that it is clear to all involved what is an acceptable system. Standards set out how a sprinkler system should be designed, installed and maintained, as well as clarifying which components should be used to ensure the expected performance. This is the primary purpose of standards. Since the first sprinkler standards were written well over 100 years ago, the buildings and the contents that sprinklers protect have changed, with new and more challenging risks emerging. To protect these risks new sprinkler solutions have been developed, underpinned by extensive, full-scale fire test research. At the same time more efficient sprinkler designs have been introduced to protect existing risks. These developments need to be included in standards, so that they can be invoked in fire codes and by regulators. New technology allows sprinklers to protect more risks, at lower cost, and therefore encourages the use of sprinklers. Similarly, by including technology in a standard we encourage use of that standard, since there is less need to consult other documents.

New Structure of EN 12845-1

As we worked on the new draft, it became longer and longer. At the same time, we expected that parts of the standard dealing with storage protection would need more frequent review in the future. To enable focussed reviews we decided to split the standard into EN 12845-1, which will apply to all systems and EN 12845-2, which solely deals with design criteria for ESFR and CMSA systems. New storage concepts are regularly being introduced to make more efficient use of warehouse space and reduce the time to find items stored. Often these concepts cannot be adequately protected by existing sprinkler designs and new sprinkler designs are needed. At the same time manufacturers regularly introduce more cost-efficient designs to protect existing risks. EN 12845-2 will therefore probably need more frequent reviews than the much larger EN 12845-1.

Currently EN 12845 does not include any guidance for seismic bracing of sprinkler systems. In 2024 this gap was filled with the publication of EN 12845-3.

Aside from technical improvements, we have revised the structure of EN 12845-1 so that it follows the design process. This means that hazard classification is now the first step and details are not in annexes at the end of the document. Following the usual chapters on scope, normative references, and terms and definitions, the sequence of chapters is as follows:
Contract planning and documentation
Extent of protection
Fire hazard classification
Construction features influencing fire hazards
Fire hazard classification of storage occupancies
Fire hazard classification of non-storage occupancies
Hydraulic design criteria
Protection of special hazards

Next are chapters on pipe sizing, layout and hydraulic calculations, sprinkler system components, installation type and size (14 pages), spacing and location of sprinklers (28 pages), sprinkler design characteristics and uses, valves, pipework and pipe supports (13 pages). They are followed by a chapter on system monitoring and transmission of alarms and fault conditions, followed by a chapter on the alarms and fault conditions themselves. These chapters have been updated to reflect current practice, recognising that regulators and other authorities have imposed different requirements in different countries.

After a short chapter on signs and notices there are chapters on water supplies, type of water supply, and pump sets. Today EN 12845 offers no guidance on which type of water supply to use. The new draft includes guidance under 'Choice of water supply', which reflects best practice and may help to introduce some consistency in this area where there are currently large differences across Europe. The chapter on pump sets is slimmer than today, because much of the material on pump set design has been moved to EN 17451, the sprinkler pump set standard. EN 17451 in turn refers to EN 12259-12, the sprinkler pump standard. EN 12845-1 still specifies the performance required from the pump set, the pressure switches and the design of the power supply for electrically driven pumps.

prEN 12845-1 then has a chapter on commissioning and first inspection. The final chapter is on maintenance and inspection. Now 16 pages, it has been substantially revised with a table showing the periodicity of inspections for each element and much more detail of what should be checked.

The chapters are followed by 59 pages of annexes. Annex A categorises 14 pages of high hazard storage (HHS) goods. These categorisations had not been revised for decades. We took many days to go through this list, basing our decisions on a mixture of testing, advice from mirror committees and the knowledge of committee members. Each good is assigned a category from 1 to 5, with a small number of exceptions such as aerosols and flammable liquids that are addressed under special hazards.

Annex B is a model maintenance report, listing all the checks to be made. Annex C sets out how to perform hydraulic calculations using the Darcy-Weisbach method. Annex D provides 16 pages of design guidance for pre-calculated systems, which are not used in most countries. Annex E lists precautions to take and procedures to follow when a sprinkler system is not fully operational. Measures to improve system reliability and availability, such as during maintenance, are in Annex F. Annex G sets out what tests are to be conducted on sprinklers from existing installations, to give confidence that those not removed for testing will work as intended. It is based on long experience from VdS [6]. Annex H describes how to measure wall thickness with ultrasound and is again based on VdS experience. Annex I lists the most important tasks to be performed when existing systems are modified.

New hazard categories in EN 12845-1 and their background

To enable the use of designs now in NFPA 13 [7] and FM data sheets [8], the hazard classification system now matches that used in those documents. Almost all sprinkler research is conducted in the US, with the largest sprinkler market. It was no longer tenable for Europe to apply a different approach.

EN 12845-1 also divides hazards into storage and non-storage, with non-storage further split into manufacturing and non-manufacturing. A flow chart (see Figure 1) helps the user to arrive at the correct hazard classification. Construction features, such as combustible construction materials, can affect the rate of fire growth and the sprinkler system design will now take this into account. Similarly, at greater height a larger fire will be required to operate the sprinklers and therefore a more powerful response will be needed from the sprinkler system. For non-storage hazards prEN 12845-1 has five Fire Hazard classes, FH1 to FH5. This is a simplification from the current nine classes (Light hazard, Ordinary hazard 1-4 and High hazard

process 1-4). There are now five High Hazard Storage classes, HHS 1-5, one more than at present to clarify differences between exposed and cartoned plastic.

While Annex A provides a hazard category for many stored goods, it does not cover those containing plastic. They can be assigned a hazard category using another flowchart, as shown in Figure 2. The new draft contains guidance for the protection of over 20 common storage configurations with design areas of operation and application densities for each storage configuration and HHS class. There is also a table of Fire Hazard classes and design guidance for special fire hazards in manufacturing processes.

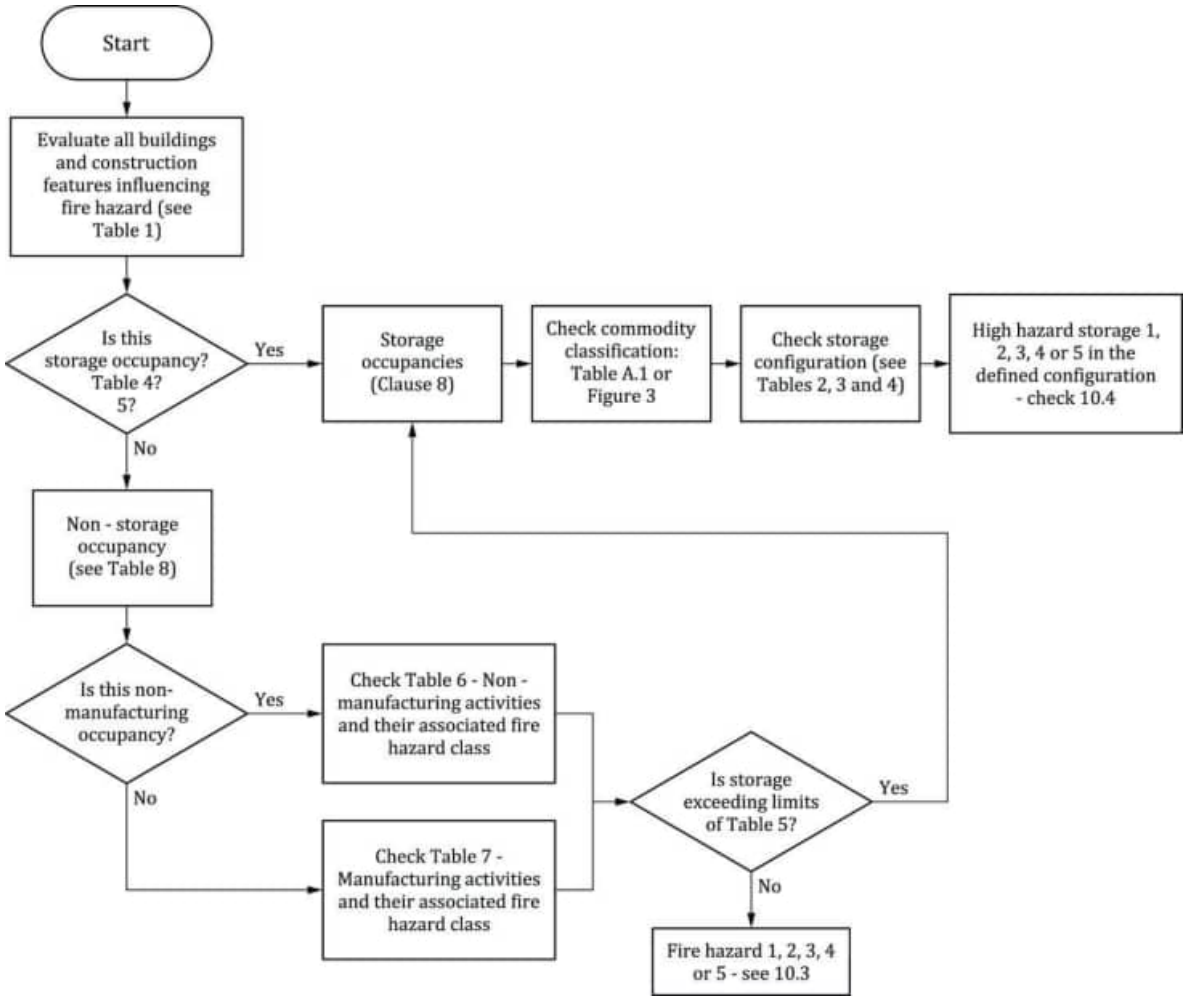


Figure 1 Methodology and process of hazard classification

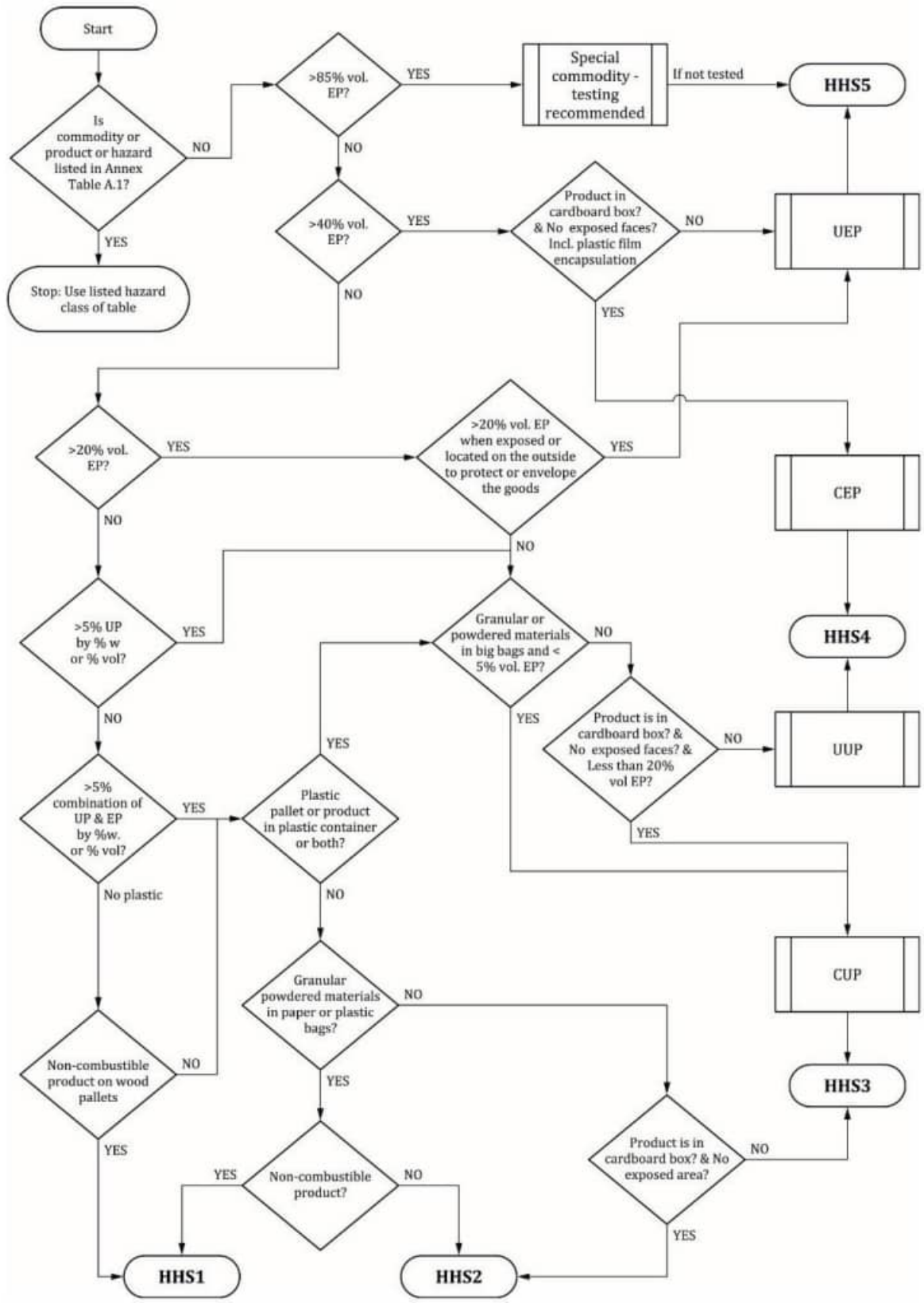


Figure 2 Fire hazard classification process for storage commodities containing plastic

The chapter on the protection of special hazards includes guidance for sprinkler systems to protect aerosol containers, clothes in multiple-rack hanging garment storage, flammable or combustible liquid storage, storage in open-top containers, residential occupancies, high-rise sprinkler systems, picking racks (14 pages), ceiling protection in combination with in-rack sprinklers, distilled spirits in wooden barrels, and

top-loading automatic storage and retrieval systems. There is also guidance for the design of sprinkler systems for residential occupancies using non-residential sprinklers, the protection of high-rise buildings and for designs that make use of extended coverage sprinklers in storage and non-storage applications.

Many non-storage buildings have areas with different hazards and many different sectors of economic activity have hazards common to other activities. The revised standard recognises this and contains lengthy tables with typical hazard classes for areas, such as electrical rooms, that are found in many buildings, as well as the different hazards found within a sector, such as mashing and fermenting rooms, ammonia rooms and blow moulding of PET containers in the food and drink sector.

All this new, detailed guidance is intended to help the user of the standard identify the correct hazard category for the sprinkler system. Without that, the design will be incorrect before any calculations have been performed!

Installation Criteria

prEN 12845-1 clarifies how to deal with obstructions, where to place in-rack sprinklers and how to protect concealed spaces. It also provides guidelines on how to deal with potential interactions between sprinkler systems and smoke control systems. Tables showing minimum pipe wall thicknesses for different pipe standards have been updated, reflecting the full range of acceptable pipe standards used across Europe. The water tank volume will in future be based on Q_{100} rather than Q_{max}, reducing its minimum volume, while the maximum water velocity in the suction pipe has been increased. Both measures introduce cost savings.

New Technology and Clarifications

The current edition of EN 12845 has half a page of guidance for the protection of aerosol containers, with limited options, whereas prEN 12845-1 has six pages with guidance for many different storage configurations and up to much greater heights. Likewise the guidance for flammable liquid storage has expanded from one page to 17 pages, again with more storage configurations to greater stored heights. The new flammable liquid guidance is largely based on testing by CNPP [9] in France. Also within the chapter on special hazards is guidance for how to protect two storage configurations: picking racks with solid shelves and walkways, and top-loading automatic storage and retrieval systems. There are also 13 pages dedicated to the design of sprinkler systems to protect distilled spirits in wooden barrels. That guidance is based on FM Global research [10] which was presented to the CEN committee.

As cities grow, we are seeing more and more high-rise buildings in their centres, where land is not available. prEN 12845-1 clarifies the guidance for high-rise buildings, illustrated with improved drawings. EN 16925 [11] is the European standard for the design of sprinkler systems for residential buildings, but unless otherwise clarified in a national annex, it is only applicable to residential buildings up to 18 m high. prEN 12845-1 includes guidance on how to design residential sprinkler protection systems above that height, using either residential sprinklers or quick response sprinklers. The designs are more economical than those in the current edition of EN 12845.

Extended coverage sprinklers are a more cost-effective technology, saving on metres of pipe to be hung. Over 10 pages of guidance in prEN 12845-1 set out how to use extended coverage sprinklers to protect a range of fire hazards, including storage. As when ESFRs were introduced into EN 12845, we did not yet have a component standard, so CEN developed and published EN 12259-15 [12], a component standard

for spray pattern sprinklers with a k-factor above 160, extended coverage sprinklers and control mode special application sprinklers. Meanwhile EN 12259-13 [13] has been published as the ESFR component standard.
As well as the above, we have introduced many clarifications throughout the standard, including in such established areas as pipework and supports, and alarms.

Periodic Inspections

Chapter 21 in the 2015 edition of EN 12845, 'Periodic system inspection', is now 26.1, with the same title. It requires that the system 'be periodically inspected by qualified personnel at least once a year.' Furthermore, 'it is recommended that the system inspections are undertaken by an independent body.' Chapter 3 defines 'qualified personnel'. In reality we would like to require an annual third-party inspection but CEN rules do not allow standards to specify who does the work, only what must be done. We have therefore recommended that the inspection be conducted by someone independent and have clarified who is competent to conduct an inspection. In some countries an annual third party inspection is required by the government when sprinklers are installed to comply with building codes. There is evidence that these inspections lead to more reliable systems.

Corrosion Mitigation

Corrosion can threaten the performance of sprinkler systems. Countries like Germany, where all sprinkler systems are thoroughly inspected, including internally, have found that dry systems are particularly prone to corrosion. This risk can be reduced by ensuring there is a slope to drain the system after the hydraulic test, as well as by using threaded joints to prevent water accumulating in grooved connections. Nevertheless there is always water vapour in the pipe network and in combination with compressed air corrosion can be rapid. While galvanising has often been applied to prevent corrosion, field inspections have revealed that it does not help. Even worse, when wet pipe systems are galvanised the zinc can react with the water to release hydrogen. There have been several explosions. The draft of EN 12845-1 therefore does not allow galvanised pipe in wet systems and has removed the incentive of a better C-factor in the Hazen-Williams pressure loss calculation with galvanised pipe in dry systems.

Testing has shown that 98% nitrogen can greatly reduce corrosion in dry systems [14], [15]. To encourage the use of nitrogen prEN 12845-1 allows hydraulic calculations to use a C-factor of 120, as for wet pipe systems. A chemically bonded internal polymer also reduces corrosion to very low rates. Its surface is smoother than steel, reducing frictional pressure losses as water moves through the pipe. For these reasons a C-factor of 140 may be used with this internal protection in both wet and dry systems.

Second CEN Enquiry

To ensure the comments from the second enquiry are handled within the CEN timetable, various national delegations have shared their comments with the CEN working group ahead of the enquiry deadline. Many have already been addressed.

CONCLUSION

The new draft of EN 12845 has introduced many changes to bring the standard up to date with current technology. Systems designed to this new edition will be able to protect a wider range of fire challenges

and will often be able to protect buildings more economically. Hazard classification will be more accurate, so that buildings and occupancies get the protection they need. A focus on long term system reliability incentivises the use of technology to make systems inherently less prone to corrosion, while detailed maintenance and testing requirements will help to ensure systems work throughout their lifetime. Separation of EN 12845 into three parts with a separate standard for pump sets enables more focussed, timely reviews as technology and knowledge evolve. prEN 12845-1 ('pr' stands for 'projet', the French for draft) introduced many important changes, resulting in a very large number of CEN enquiry comments. It was impossible to address them within the CEN timetable so the work item expired. These comments have now been addressed and a second draft is out for enquiry. This is an opportunity for the national standards bodies who form the CEN membership to review and submit comments.

REFERENCES

[1] EN 12845:2015+A2:2026 Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance
[2] EN 12845-2:2024+A1:2026 Fixed firefighting systems. Automatic sprinkler systems. Part 2: Design and installation of ESFR and CMSA sprinkler systems
[3] EN 12845-3: 2024 Fixed firefighting systems. Automatic sprinkler systems. Guidance for earthquake bracing
[4] EN 17451:2024 Fixed firefighting systems. Automatic sprinkler systems. Design, assembly, installation and commissioning of pump sets
[5] EN 12259-12: 2023 Fixed firefighting systems. Components for sprinkler and water spray systems – Pumps
[6] VdS Schadenverhütung GmbH, Cologne, Germany
[7] NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems, NFPA, Quincy, MA, USA, 2022
[8] FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, FM Global, Johnston, RI, USA
[9] Groupe CNPP, Saint Marcel, France
[10] FM Global Research Campus, Glocester, RI, USA
[11] EN 16925:2018/AC:2020 Fixed firefighting systems. Automatic residential sprinkler systems. Design, installation and maintenance
[12] Corrosion Inhibition of Dry and Pre-Action Fire Suppression Systems Using Nitrogen Gas, J. Tihen, Potter Electric Signal Company, St Louis, MO, USA, 2019
[13] New Corrosion-Resistant Sprinkler Pipe, Approved Product News Volume 37 Issue 1, FM Approvals, Norwood, MA, USA, 2020

CURRICULUM VITAE

Alan Brinson is the Executive Director of the European Fire Sprinkler Network. On graduating from Cambridge University he joined Shell as a research process engineer, moving to Proctor & Gamble before joining Tyco in 1992. With Tyco he held a series of European fire protection business and product management roles, culminating in responsibility for the European sprinkler and special hazards components business. In 2003 Alan left Tyco and set up the EFSN. For the past 23 years he has led and participated in successful sprinkler campaigns in many European countries, working with EFSN members, fire chiefs and officials to ensure that new buildings are fitted with sprinklers. Alan contributes to research to support these campaigns to bring the benefits of sprinklers to society. He is also a member of standards committees for BSI, CEN and NFPA, and is a chartered chemical engineer.

DESIGN & INSTALLATION of ESFR and CMSA SPRINKLER SYSTEMS EN 12845-2

Karim KARZAZI

Executive Summary

The presentation provides an update on the development of the EN 12845 series, focusing on **EN 12845-2**, the European standard dedicated to **Early Suppression Fast Response (ESFR)** and **Control Mode Specific Application (CMSA)** sprinkler systems.

It explains how EN 12845-2 fits into the wider European sprinkler standards framework, why a dedicated standard is needed, and which technical provisions are being corrected, clarified or expanded through Amendments A1 and A2.

EN 12845-2 provides a European framework for advanced storage sprinkler protection. It incorporates recognised practices from **NFPA 13** and **FM Data Sheets**, while making them compatible with European standardisation and national requirements.

The standard was published in **December 2024**. However, several corrections and adjustments have already been identified:

- **Amendment A1** has gone through the enquiry process and was expected to be reviewed in May 2026.
- **Amendment A2** is being prepared in parallel and is intended to include advanced design options and updates based on recent research and fire testing.
- The amendments affect terminology, commodity classifications, storage tables, skylight protection, flue-space requirements and certain specialised applications.

The main technical subjects covered by the presentation are:

- the structure and status of the EN 12845 series;
- the role and organisation of EN 12845-2;
- classification of goods and storage configurations;
- obstruction rules;
- protection of skylights;
- sprinkler-to-ceiling distances;
- hydraulic calculation areas;
- rack flue spaces;
- ESFR and CMSA design tables;
- special applications such as rubber tyres, rolled paper and mini-load systems.

1. Standards Landscape and Publication Status

The EN 12845 family is evolving from a single general sprinkler standard into a coordinated series containing several specialised parts.

EN 12845:2015 + A1:2019

This is the existing base standard for automatic sprinkler systems.

An additional amendment, **A2:2026**, was validated in February 2026. Its purpose is mainly to allow the use of recently published associated standards and to update references throughout EN 12845.

The amendment includes:

- references to the pump-set standard EN 17451, mainly in Chapters 9, 10 and 21;

- references to EN 12845-3 for earthquake protection in Chapter 13.1;
- removal of the detailed CMSA content from Annex N, with a reference to EN 12845-2 instead;
- removal of the detailed ESFR content from Annex P, also replaced by a reference to EN 12845-2.

prEN 12845-1

The future EN 12845-1 is intended to contain the common core applicable to the other parts of the series, together with the rules for conventional **CMDA** sprinkler designs.
A new draft was issued in March 2026 after the review of approximately **4,000 comments**.
A second enquiry was expected in May 2026. According to the presentation, publication is not expected before 2027.

EN 12845-2

EN 12845-2 is dedicated specifically to ESFR and CMSA designs.
It must be applied together with either:

- EN 12845-1, once available; or
- EN 12845 including Amendment A2:2026.

EN 12845-2 was published in December 2024. After publication, several corrections and adjustments were considered necessary.

EN 12845-3

EN 12845-3 covers earthquake protection for sprinkler systems and replaces **CEN/TS 17551**.
It is intended to be applied in conjunction with EN 12845-1 or EN 12845 A2:2026.
The presentation indicates that it was published in May 2024.

EN 17451

EN 17451 covers pump sets intended for sprinkler systems conforming to EN 12845.
The presentation indicates that it was published during the first quarter of 2025.
An A1 amendment is being prepared to clarify the definitions and responsibilities of:

- the pump-set manufacturer;
- the pump-set assembler.

Practical implication

EN 12845-2 is not a completely standalone standard. Designers must use it together with the applicable common requirements from EN 12845.
Users should also follow the development of Amendments A1 and A2 because these may affect the interpretation and application of several design provisions.

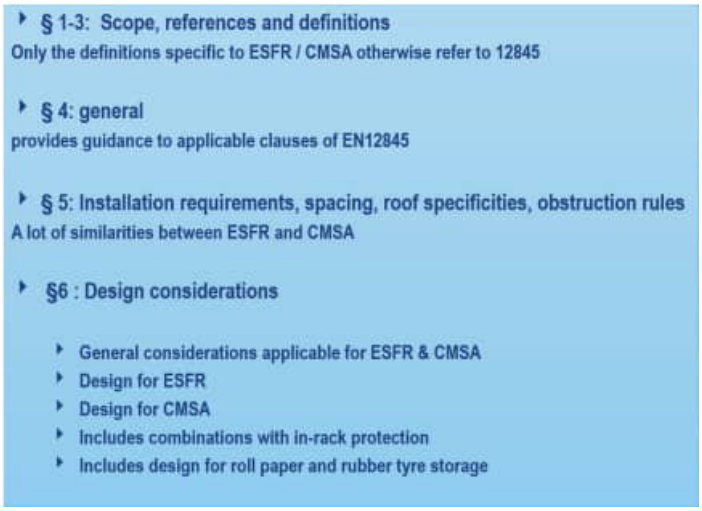
2. Purpose and Structure of EN 12845-2

ESFR and CMSA systems require specific design and installation rules that are difficult to incorporate efficiently into a general sprinkler standard as they evolve regularly.
EN 12845-2 therefore provides a dedicated European reference for these technologies.

Why the standard is important

- It combines relevant elements from NFPA 13 and FM Data Sheets.
- It provides options that may not exist in NFPA 13.
- It provides other options that may not exist in FM Data Sheets.
- It places modern ESFR and CMSA design methods under a European standard.
- It helps make internationally recognised design approaches compatible with European and national requirements.
- It gives the industry access to recent technical developments and recognised full-scale fire-test results.

Structure of the document



3. Classification of Goods and Storage Categories

Commodity classification is fundamental because it determines which fire-test results and design tables can be used.

EN 12845-2 uses an approach comparable to NFPA and FM classification systems.

High Hazard Storage categories

Goods are classified into the following categories from HH1 to HHS5.

Correct classification is essential for selecting the appropriate ESFR or CMSA design.

The classification must consider not only the nature of the commodity but also its packaging, the presence of plastics, whether plastics are expanded or unexpanded, whether they are cartoned or exposed.

Terminology changes in Amendments A1 and A2

Future amendments introduce a simplified classification flow chart and harmonised acronyms.

CUP :Cartoned unexpanded plastic or **cartoned non-expanded plastic**.

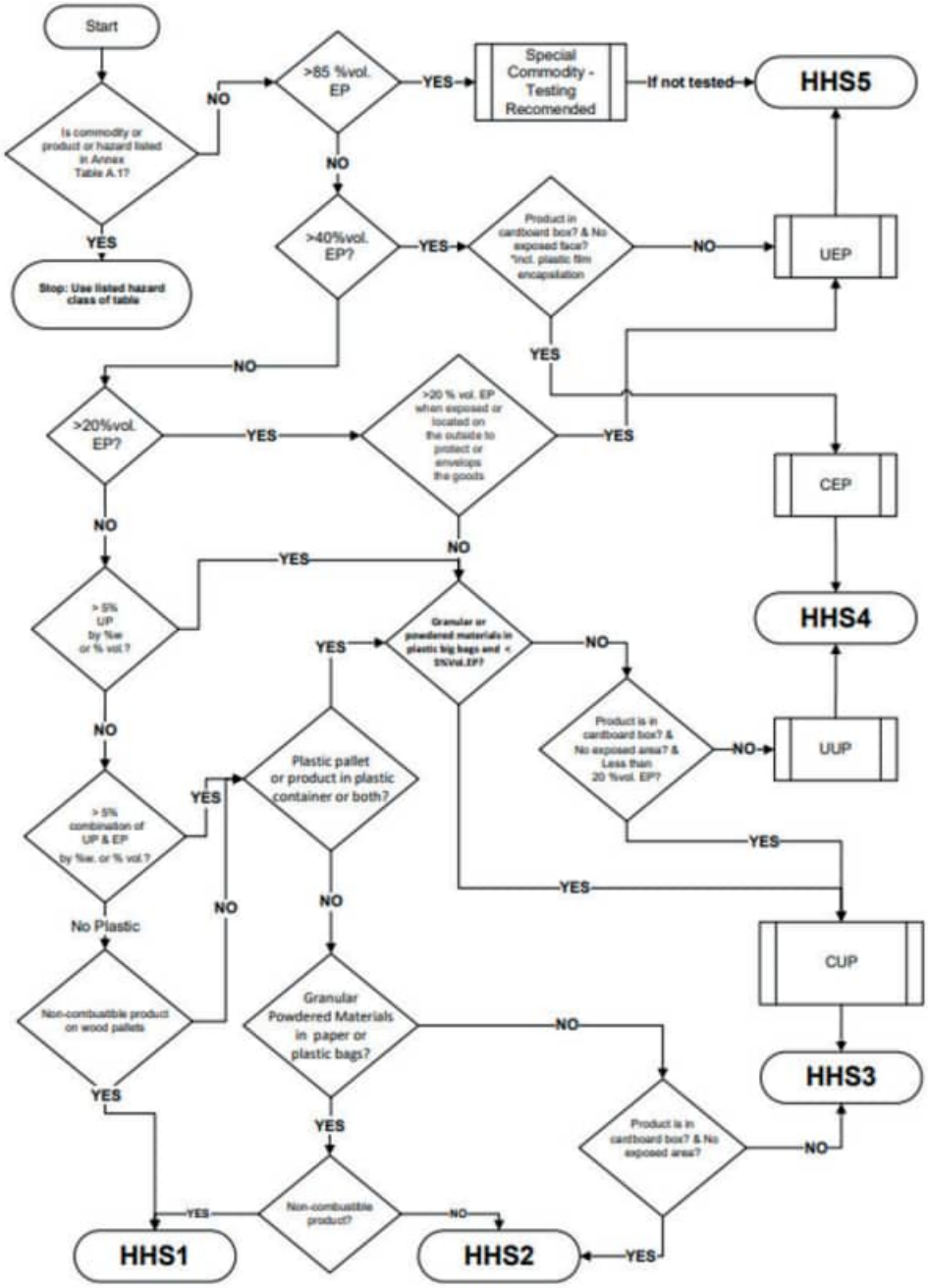
The acronym CUP replaces alternative or duplicate terminology.

CEP : Cartoned expanded plastic.

UUP : Uncartoned unexpanded plastic or **exposed non-expanded plastic**.

UEP : Uncartoned expanded plastic or **exposed expanded plastic**.

These changes are intended to remove ambiguity and make the classification process easier to apply.



Storage-type tables

Amendment A1 introduces a new table describing storage types and their correspondence with categories already used in EN 12845.

Examples given in the presentation include:

- STC2 corresponding to former ST5;
- STC4 corresponding to former ST4.

A new **Table A.3** provides a list of commodities.

The presentation states that these tables are aligned with those planned for the future EN 12845-1. This should facilitate movement between the common standard and the specialised ESFR/CMSA part.

4. Installation Requirements — Clause 5

Clause 5 covers the physical installation of ESFR and CMSA sprinklers, including roof conditions, spacing, obstructions and architectural features.

Obstruction rules

Obstruction requirements differ between:

- FM Data Sheets;
- NFPA standards;
- the results of more recent research and fire tests.

EN 12845-2 adopts conservative requirements so that designs based on both NFPA and FM approaches can be accommodated.

The standard provides diagrams identifying the maximum permitted size of objects within specific zones around sprinklers.

The overall objectives are to:

- simplify general obstruction rules;
- use common rules for ESFR and CMSA wherever possible;
- identify exceptions clearly;
- define compensatory measures where an obstruction cannot be avoided..

Illustrated obstruction configurations

The standard includes comprehensive drawings for different conditions, including:

- obstructions above storage racks;
- grouped obstructions;
- relationships between obstacle dimensions and separation distances.

Plastic skylights

The 2024 edition requires protection when a plastic skylight is greater than **1 m³**.

Amendment A1 changes the trigger to:

- an area greater than **3 m²**; or
- a height greater than **0.5 m**.

Two protection options are presented:

1. sprinklers spaced every **1.2 m** at ceiling level;
2. sprinklers spaced every **2.4 m** underneath the skylight.

5. General Design Requirements — Clause 6

Clause 6 translates the classification and installation conditions into hydraulic and technical design requirements.

Distance to the ceiling

The distance between the sprinkler and the ceiling is measured from the sprinkler's **thermal element**.

For corrugated metal deck roofs up to **75 mm deep**, the distance may exceptionally be measured from the bottom of the flange.

In other situations, the measurement must be taken from the top of the flange.

This distinction is important because the activation and discharge performance of ESFR and CMSA sprinklers can be affected by their distance from the ceiling.

Water-supply duration and hydraulic calculation

The standard provides guidance on the shape of the hydraulic design area.

Amendment A1 introduces configurations such as:

- 10 sprinklers represented as **3 × 3 + 1 × 1**;
- 14 sprinklers represented as **4 × 3 + 2 × 1**.

These arrangements define how the assumed operating sprinklers are distributed in the hydraulic calculation area.

Rack flue spaces

Flue spaces are essential because they allow heat and fire gases to rise vertically through rack storage, supporting prompt sprinkler activation and effective water penetration.

Amendment A1

The minimum required dimensions are:

- longitudinal flue spaces: **150 mm**;
- transverse flue spaces: **100 mm**.

Amendment A2

For rack storage, A2 requires:

- a longitudinal flue space of at least 150 mm, of which at least 100 mm is completely free of obstruction;
- a transverse flue space of at least 100 mm, of which at least 75 mm is completely free of obstruction around each pallet.

6. ESFR Design Requirements

The traditional ESFR design is based on **12 sprinkler heads operating simultaneously**.

The design method draws on NFPA 13 and FM Data Sheets.

FM-based options are included where equivalent options do not exist in NFPA 13, including the use of sprinklers such as:

- K400;
- K480.

Rubber tyre storage

A dedicated table is provided for rubber tyre storage.

This is necessary because tyres present a particular fire challenge due to:

- their combustible composition;
- their geometry;
- the potential for rapid fire development;
- the difficulty of water penetration.

Rolled paper storage

A dedicated table is also included for rolled paper storage.

Amendment A2 is expected to review this subject completely to align the standard with the latest tests carried out by FM.

A new classification is introduced:

- RP1;
- RP2;
- RP3.

This classification is intended to distinguish different rolled-paper hazards and support more appropriate design selection.

Alternative ESFR designs

Alternative designs are available using:

- 9 sprinklers;
- 10 sprinklers;
- 15 sprinklers;

operating simultaneously.

These alternatives require different minimum pressures and additional design restrictions.

The presentation refers to two ESFR tables based on FM concepts for designs involving 9 or 10 simultaneously operating sprinklers.

Special requirements may include stricter limits concerning:

- airflow velocity;
- obstructions;
- ceiling combustibility;

These solutions should therefore not be considered simple reductions in the number of operating sprinklers. They are complete design options with additional conditions that must all be satisfied.

7. CMSA Design Requirements

CMSA design is based on a series of tables organised according to:

- commodity category;
- storage configuration;
- storage height;
- building height;
- wet or dry system;

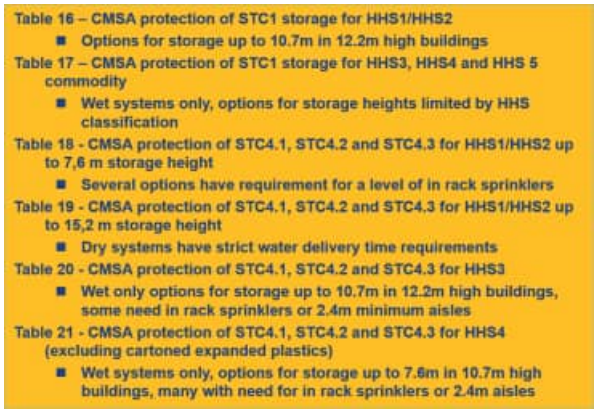

Table 16 – CMSA protection of STC1 storage for HHS1/HHS2
- Options for storage up to 10.7m in 12.2m high buildings

Table 17 – CMSA protection of STC1 storage for HHS3, HHS4 and HHS 5 commodity
- Wet systems only, options for storage heights limited by HHS classification

Table 18 - CMSA protection of STC4.1, STC4.2 and STC4.3 for HHS1/HHS2 up to 7,6 m storage height
- Several options have requirement for a level of in rack sprinklers

Table 19 - CMSA protection of STC4.1, STC4.2 and STC4.3 for HHS1/HHS2 up to 15,2 m storage height
- Dry systems have strict water delivery time requirements

Table 20 - CMSA protection of STC4.1, STC4.2 and STC4.3 for HHS3
- Wet only options for storage up to 10.7m in 12.2m high buildings, some need in rack sprinklers or 2.4m minimum aisles

Table 21 - CMSA protection of STC4.1, STC4.2 and STC4.3 for HHS4 (excluding cartoned expanded plastics)
- Wet systems only, options for storage up to 7.6m in 10.7m high buildings, many with need for in rack sprinklers or 2.4m aisles

Mini-load systems

Amendment A1 introduces a new **Clause 6.8** concerning ceiling-only sprinkler protection for mini-load systems.

Mini-load systems are compact or automated storage arrangements. Their configuration can differ significantly from conventional pallet rack storage.

The addition of a dedicated clause indicates that these systems require specific assessment rather than simple extrapolation from conventional rack-storage rules.

9. Practical Takeaways

The most important conclusions from the presentation are as follows:

1. **EN 12845-2 is the dedicated European reference for ESFR and CMSA systems.**
   It must nevertheless be used with the applicable common requirements of EN 12845.
2. **Correct commodity classification is essential.**
   An incorrect classification can lead to selection of the wrong design table and an inappropriate protection concept.
3. **Storage configuration is as important as the commodity itself.**
   The design depends on storage type, storage height, building height, aisle width, packaging and the possible need for in-rack sprinklers.
4. **ESFR and CMSA should not be treated as interchangeable.**
   They are addressed in the same standard because they both protect high-challenge storage, but they use different design principles and tables.
5. **Installation conditions can determine whether a design remains valid.**

Obstructions, ceiling geometry, sprinkler distance, skylights and rack flue spaces all influence system performance.

6. **Alternative ESFR designs require additional conditions.**
   Designs based on 9, 10 or 15 operating sprinklers may require higher pressures and stricter environmental or installation limitations.
7. **Special commodities require dedicated provisions.**
   Rubber tyres and rolled paper cannot always be protected using general commodity tables.
8. **The standards remain under active development.**
   Designers and stakeholders should verify the latest published amendments before applying the requirements to a project.

Conclusion

EN 12845-2 represents an important development in European sprinkler protection for high-hazard storage.

It creates a technical bridge between established international practice—particularly NFPA 13 and FM Data Sheets—and the evolving EN 12845 series.

Its main value is the consolidation of:

- ESFR and CMSA design requirements;
- commodity and storage classifications;
- installation and obstruction rules;
- hydraulic design criteria;
- requirements for specialised storage hazards.

Although the standard was published in December 2024, Amendments A1 and A2 show that it is still evolving. The amendments aim to improve clarity, align terminology, incorporate recent test results and introduce advanced design options.

For designers, insurers, approval authorities and end users, successful application of EN 12845-2 will depend on careful classification, correct table selection and close attention to installation details.

REFERENCES

EN 12845:2015+A2:2026 Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance

CURRICULUM VITAE

Karim Karzazi is the head of the Technical Centre at AXA XL Risk consulting. Technical Centre oversees standards, training and technical guidelines for a team of 410 engineers worldwide (26 countries) covering all Lines of business.

Karim has been with AXA for 15 years and has an experience in loss prevention of 30 years.

He has been involved in the development of European standards for over 26 years. He is the convenor of the CEN task group drafting changes to the European sprinkler installation standard EN 12845 and also the convenor of EG4 in charge of CEA 4001 sprinkler rule.

Karim has a degree in mechanical engineering and is a graduate of the National Institute of Fire Safety, INSSI.

Before joining AXA he worked for five years as a loss control manager for property and casualty field engineers team at ALLIANZ AGCS and 11 years at CNPP (French equivalent to UL-NFPA), where he was head of the sprinkler department.

Karim started his career as mechanical engineer in food industry.

Earthquake Protection of Automatic Sprinkler Systems under EN 12845-3:2024
Ensuring Fire Protection Reliability in Seismic Regions

Matteo Alessandro BALENI

Abstract
Automatic sprinkler systems are among the most effective fire protection measures available for life safety and property preservation. Following earthquakes, however, damage to fire protection piping, pumps, tanks, and associated components can significantly impair system functionality at precisely the moment when fire risk increases due to damaged infrastructure and disrupted emergency response capabilities. EN 12845-3:2024 introduces a comprehensive European framework for the seismic protection of automatic sprinkler systems, providing guidance for earthquake bracing, flexibility, clearances, and equipment restraint. The standard aims to ensure that sprinkler systems remain operational during and after seismic events by minimizing uncontrolled movements, pipe failures, and water leakage. This paper analyzes the objectives, design philosophy, engineering principles, and practical implementation requirements of EN 12845-3:2024, highlighting its significance for resilient fire protection design in earthquake-prone regions.

Key words: fire protection design, sprinkler systems, seismic protection, infrastructure resilience

1. Introduction
Earthquakes represent a unique challenge for fire protection systems. While buildings may survive a seismic event with limited structural damage, inadequately protected sprinkler systems frequently suffer pipe ruptures, broken fittings, damaged supports, and failed water supplies. Such failures can render the fire suppression system inoperative at a time when post-earthquake fires can rapidly escalate.
Recognizing this risk, the European Committee for Standardization (CEN) published EN 12845-3:2024, “Fixed Firefighting Systems – Automatic Sprinkler Systems – Part 3: Guidance for Earthquake Bracing.” The standard complements EN 12845-1 and establishes specific requirements for protecting sprinkler installations exposed to seismic hazards. Its principal objective is to improve the probability that fire protection systems remain functional during and after an earthquake while minimizing water damage resulting from uncontrolled leakage.
The publication replaces CEN/TS 17551:2021 and reflects growing international recognition that fire protection resilience forms an essential component of overall building resilience.

2. Scope and Applicability
EN 12845-3 applies to automatic sprinkler systems designed in accordance with EN 12845 and installed within seismic regions identified under EN 1998-1 (Eurocode 8). The standard specifically addresses locations where peak ground acceleration exceeds levels considered significant for seismic risk assessment. A reference threshold of approximately 0.08g is identified as an earthquake risk requiring special measures. Although written primarily for sprinkler systems, the document states that its principles may also be applied to other water-based fixed firefighting systems, including manual and automatic systems where local regulations permit.

3. Fundamental Design Philosophy

The standard is structured around seven core design principles intended to maintain system integrity under seismic loading:

1. Bracing sprinkler piping and associated equipment
2. Providing flexibility where differential movement is expected
3. Maintaining adequate clearances around piping and sprinklers
4. Anchoring pumps, tanks, controllers, and related equipment
5. Using appropriate pipe supports and hangers
6. Employing pipe joining methods capable of accommodating movement
7. Verifying through design calculations and installation reviews that seismic protection requirements are met

These principles recognize that earthquake damage is often caused not by static loading but by differential movement between building components, equipment, and piping networks.

4. Seismic Bracing of Sprinkler Piping

4.1 The Role of Sway Bracing

The cornerstone of seismic sprinkler protection is sway bracing. A sway brace is defined as a group of elements intended to prevent differential movement between piping and structural components.
The standard specifies three main categories:

- **Two-way braces** (lateral or longitudinal)
- **Four-way braces** (capable of resisting movement in multiple directions)
- **Restraints** (capable of preventing excessive movements on range pipes DN50 and smaller)

These braces are designed to resist horizontal seismic forces and the resulting vertical uplift forces generated during seismic motion.
All sway-bracing components, excluding certain concrete anchors, must be designed with a minimum safety factor of 1.5 above the calculated earthquake load.

4.2 Bracing Locations

Correct brace positioning is as important as brace strength.

- **Risers**

  Vertical risers require:
  - Four-way bracing within 0.6 m of the top.
  - Intermediate bracing at intervals not exceeding 12 m.
  - Additional braces near outlets and flexible couplings under specified circumstances.
- **Horizontal Piping**

  For horizontal mains and range pipes ≥ DN65:
  - Lateral braces are required at intervals not exceeding 12 m
  - Longitudinal braces are required at intervals not exceeding 24 m
  - Additional bracing is required near changes in direction, pipe ends, and flexible couplings

  For Range pipes DN50 and smaller:
  - For dead-end systems, restraints are required at a specific maximum distance from pipe end (depending on the pipe diameter)
  - For looped systems, restraints are required at a maximum span of 24m

5. Seismic Load Determination

A major contribution of EN 12845-3 is the provision of engineering methods for calculating seismic loads. The standard offers two approaches:

1) Eurocode Method

Based on Eurocode 8 principles, seismic force is calculated as:

Fa = Wa × Sa × γa / qa

Where:

- Fa = horizontal seismic force
- Wa = mass of water-filled piping
- Sa = seismic coefficient
- γa = importance factor
- qa = behaviour factor

The method accounts for:

- Peak ground acceleration (PGA)
- Soil conditions
- Building height
- Pipe elevation
- Dynamic characteristics of the building and piping system

2) Simplified Method

A simplified alternative is provided:

Fa = 5.5 × α × S × Wa

This method intentionally produces conservative results and allows designers to perform practical calculations without a detailed dynamic analysis.

6. Engineering of Sway Braces

The standard permits several brace configurations:

- **Single Diagonal and Vertical Brace**
  This configuration uses a diagonal member for seismic resistance and a vertical member to resist uplift when necessary. The diagonal member must be inclined at least 30° from the vertical.
- **Opposing Rigid Braces**
  Two rigid opposing diagonal braces can share seismic forces while resisting both tension and compression. The slenderness ratio must not exceed 200 to avoid buckling.
- **Tension-Only Bracing**
  When braces are designed only to resist tension, opposing brace arrangements are mandatory because neither brace can carry compressive loads.

This flexibility allows designers to adapt solutions to differing building configurations while maintaining seismic reliability.

7. Attachments and Fasteners

Seismic loads must be transmitted safely into the building structure.
The standard requires:

- Positive mechanical connections.
- Seismically qualified anchors.
- Compliance with EN 1992-4 for concrete fasteners.
- Prohibition of powder-driven fasteners for sway brace attachments.

Connections must be made only to structural elements capable of resisting calculated loads. Weak members and non-structural framing systems are specifically excluded as acceptable attachment points.

8. Flexibility and Differential Movement

A completely rigid sprinkler system is not desirable in seismic conditions because some building movement is unavoidable.
To accommodate movements, EN 12845-3 requires flexible couplings at strategic locations:

- Risers
- Floor penetrations
- Long vertical drops
- In-rack sprinkler systems
- Locations where piping crosses walls lacking sufficient seismic clearance

The philosophy is straightforward: bracing controls movement while flexibility accommodates unavoidable displacement.

9. Seismic Separation Assemblies

Modern buildings frequently contain seismic joints separating structural sections.
Where sprinkler piping crosses such joints, EN 12845-3 requires seismic separation assemblies designed to accommodate multidirectional movement. The assemblies consist of flexible couplings, fittings, elbows, and pipe nipples arranged to absorb relative structural displacement without damaging the piping network.
These provisions are critical because seismic joints are intentionally designed to move during earthquakes, making conventional rigid piping unsuitable.

10. Clearance Requirements

Even properly braced systems can fail if pipes or sprinklers impact surrounding building elements.
The standard therefore mandates minimum clearances:

- **Pipe Penetrations**
  - 25 mm for DN 25–80 piping
  - 50 mm for DN 100 and larger piping
- **Sprinklers**
  - Minimum 13 mm clearance around ceiling penetrations
  - Preferred 25 mm clearance
  - Minimum 50 mm clearance from nearby structural and non-structural elements
  - Preferred horizontal clearances of 100–150 mm where feasible

These requirements significantly reduce the risk of mechanical damage caused by impact during building movement.

11. Protection of Water Supplies and Equipment

Seismic resilience extends beyond piping.

The standard requires anchorage or restraint for:

- Main fire pumps
- Booster pumps
- Jockey pumps
- Water tanks
- Controllers
- Battery systems
- Diesel fuel tanks

Without such anchorage, a sprinkler system may remain intact while its water source or pumping equipment becomes inoperative.

12. Storage Racks and In-Rack Sprinklers

Warehouses present additional challenges because storage racks themselves may be affected by earthquake forces.

EN 12845-3 requires verification that:

- Racks are seismically designed.
- Rack anchorage is adequate.
- Additional measures such as floor bolting or cross-bracing are provided where necessary

The interaction between structural storage systems and sprinkler protection is particularly important in high-bay logistics facilities.

13. Benefits of EN 12845-3

Implementation of EN 12845-3 provides several significant benefits:

- Increased operational reliability of fire protection systems after earthquakes.
- Reduced likelihood of pipe rupture and water damage.
- Improved life safety performance.
- Better business continuity.
- Harmonized seismic sprinkler design practices across Europe.
- Enhanced resilience of critical facilities such as hospitals, data centres, logistics centres, and industrial plants.

The standard effectively bridges the gap between structural earthquake engineering and fire protection engineering.

14. Conclusion

EN 12845-3:2024 represents a major advancement in European fire protection standards. Rather than focusing solely on fire suppression performance under normal conditions, it addresses the increasingly important challenge of maintaining system functionality during and after seismic events.

By combining bracing, flexibility, clearance provisions, anchorage requirements, and engineering calculations based on Eurocode principles, the standard provides a comprehensive framework for seismic sprinkler design. Its adoption will contribute significantly to reducing post-earthquake fire losses and preserving critical life safety systems when they are needed most.

As urbanization continues in seismically active regions and resilience becomes a primary design objective, EN 12845-3 is likely to become an essential reference document for fire protection engineers, structural engineers, regulators, insurers, and facility owners seeking to ensure that automatic sprinkler systems remain operational under the most demanding conditions.

References

Normative References

[1] EN 1992-4, Eurocode 2 — Design of Concrete Structures — Part 4: Design of Fastenings for Use in Concrete. European Committee for Standardization (CEN).
[2] EN 1998-1:2004, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance — Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, including EN 1998-1:2004/AC:2009 and EN 1998-1:2004/A1:2013. European Committee for Standardization (CEN).
[3] EN 12845, Fixed Firefighting Systems — Automatic Sprinkler Systems — Design, Installation and Maintenance. European Committee for Standardization (CEN).

Related Standards Referenced in the Foreword

[4] CEN/TS 14816, Fixed Firefighting Systems — Water Spray Systems — Design, Installation and Maintenance.
[5] EN 671 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Hose Systems.
[6] EN 12094 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Components for Gas Extinguishing Systems.
[7] EN 12101 (all parts), Smoke and Heat Control Systems.
[8] EN 12259 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Components for Automatic Sprinkler and Water Spray Systems.
[9] EN 12416 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Powder Systems.
[10] EN 12845-1, Fixed Firefighting Systems — Automatic Sprinkler Systems — Part 1: Design, Installation and Maintenance.
[11] EN 12845-2, Fixed Firefighting Systems — Automatic Sprinkler Systems — Part 2: Design and Installation of ESFR and CMSA Sprinkler Systems.
[12] EN 13565 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Foam Systems.
[13] EN 14972 (all parts), Fixed Firefighting Systems — Water Mist Systems.
[14] EN 17451, Fixed Firefighting Systems — Automatic Sprinkler Systems — Design, Assembly, Installation and Commissioning of Pump Sets.

Bibliography from EN 12845-3:2024

[15] FM Global, Property Loss Prevention Data Sheet 1-2: Earthquakes. FM Global.
[16] FM Global, Property Loss Prevention Data Sheet 1-11: Fire Following Earthquake. FM Global.
[17] FM Global, Property Loss Prevention Data Sheet 2-8: Earthquake Protection for Water-Based Fire Protection Systems. FM Global.
[18] NFPA 13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems. National Fire Protection Association (NFPA).

CURRICULUM VITAE

Matteo Alessandro Baleni is nVent Business Development Manager for CADDY Seismic Protection Products, responsible for EMEA territory.
A graduated civil engineer at Politecnico di Milano University, with specialization in hydraulic systems engineering, he spent almost his entire work career in struts and construction business, working 6 years for Hilti Italia (manufacturer of construction and building products) as technical helpdesk and then territory solution engineer, 1 year for Knauf Italia (plasterboard manufacturer) as solution engineer, 6 years for Tyco Fire Protection Products Italia (water based fire protection products manufacturer) as technical product manager and, before joining ERICO, few months for MEFA Italia (fastening system manufacturer) as support engineer. Matteo also deepened his marketing skills and competences working four years as product manager for Antalis Italia (paper merchant company).

Once joined ERICO (then evolved into nVent) in the CADDY division, Matteo managed his own sales and technical role supporting fire protection engineering firms and contractors in the seismic protection design and organizing and delivering more than 100 technical seismic seminars (focused on seismic protection for sprinkler systems) across Europe for engineers in the last fourteen years.
He is a speaker/lecturer at national (AIIA - IFSN) and international conferences (HUZOP; TUYAK; VdS; ELYPIKA; FOUR ESSENTIALS; SFPE) and is currently member of the EFSN (European Fire Sprinkler Network) and IFSN (Italian Fire Sprinkler Network) Technical Committees.
Matteo Alessandro Baleni is 54 and lives in Padova (North-East Italy) with his sweetheart, his ten years old son and his dog.

From Prescription to Performance: A Comparative Study of Automatic Sprinkler Design Across NFPA, EN 12845, and FM

Mark FESSENDEN

Abstract

Water-based fire protection is governed by different standards in different parts of the world, yet the systems share a vocabulary of hazard classes and design densities that makes them appear interchangeable. This study compares the three dominant systems for automatic sprinkler design — the American NFPA standards, the European EN 12845, and the FM Global data sheets — and demonstrates that a direct one-to-one comparison between them is frequently not possible. Two structural distinctions explain why. First, NFPA and EN 12845 are consensus minimum standards defining a floor for life safety and property protection, whereas FM Global data sheets are written by an insurer to minimise loss on the insured asset, which accounts for their consistently higher design densities. Second, the systems apply prescriptively to buildings that fit their assumptions but force a shift to performance-based design where buildings do not, the data center being the clearest current example. Working from the governing documents through hazard classification, occupancy classification, and a hydraulic comparison of four common occupancies, the study shows that identical class labels can carry substantially different water demands: an office classified as the lightest occupancy in all three systems ranges from 189 to 560 litres per minute depending on the standard applied. The paper argues that the practical consequence is not to rank the systems but to match them to purpose. Because each answers a different question, the competent designer's task begins not with a standard but with an assessment of the client's risk tolerance, bounded below by the mandatory code minimum and shaped above it by the value the client places on property and operational continuity. Command of all three systems is what enables that judgement.

Key Words: automatic sprinkler systems; NFPA 13; EN 12845; FM Global; hazard classification; performance-based design

Introduction

A sprinkler system has one job. When a fire starts, it must put enough water over the right area, fast enough, to control that fire. But the amount of water that job requires is not a fixed quantity. It depends on what the building contains, what it is worth, and what its owner can afford to lose. Fire protection design, properly understood, does not begin with a standard. It begins with a client.

Every client carries a different tolerance for loss. Life safety is never negotiable, and the governing code and the authority having jurisdiction set a floor beneath which no design may fall. Above that floor, clients differ sharply. A hospital cannot tolerate the loss of a ward. A data center owner may value the servers, and the business running on them, far above the building that houses them. A warehouse operator answers to an insurer whose loss limit drives every decision. The designer's task is to understand these needs and to match the protection to them. To do that well, the designer must know the tools available, and must know that they are not the same tool.

Three standards systems dominate water-based fire protection: the European EN standards, the American NFPA standards, and the FM Global data sheets. They are not competitors to be ranked, and none is superior in the abstract. They are different in kind. NFPA and EN 12845 are consensus minimum standards, agreed by committees of many stakeholders to define the lowest level of protection that satisfies life safety and property protection. FM Global data sheets are written by an insurer to minimise the loss it may have to pay, and they protect the insured asset, not only the people inside it. This difference in purpose is not a detail. It is the reason FM densities run consistently higher than NFPA or EN densities for the same

building, as the hydraulic comparison later shows. The three systems are not disagreeing about the same question. They are answering different questions, and a designer who knows all three can choose the answer that fits the client.
A second distinction runs through the whole subject: the difference between prescription and performance. A prescriptive requirement is what the standard writes down, a class, a density, an area, applied to a building that fits the situation the standard imagined. Performance-based design is what a designer must do when the building does not fit that tidy box, and must instead demonstrate that a design achieves the required outcome by analysis rather than by table lookup. Most buildings are handled prescriptively. A growing number, the data center chief among them, are not, and they force the designer from prescription into performance. This movement, from applying what is written to engineering what the client needs, is the arc this study follows.
What follows is an examination of where these systems diverge, why a direct one-to-one comparison between them is frequently not possible, and where that divergence can mislead a designer. The comparison proceeds from the governing documents, to the classification of hazard, to the matching of a building to a class, then to the assessment of the client's own risk, and finally to the design density and water demand at the sprinkler for four common occupancies.

Basis of Design: Three Ways to Answer the Same Question

Every water-based fire protection system begins with a single question. What must this system deliver, where, and for how long. The answer is not a matter of engineering preference. It is fixed by the standard the designer works to, and the three major standards systems in use across Europe and North America answer that question in structurally different ways.
Understanding those differences begins with the documents themselves, because the choice of governing document determines everything that follows: how the hazard is classified, how the occupancy is matched to that hazard, and how much water the system must ultimately supply.
The European model bundles the lifecycle into one framework. In Europe, the design basis for a commercial or industrial sprinkler system is EN 12845-1, the Fixed firefighting systems — Automatic sprinkler systems — Part 1: Design, installation and maintenance. Where the building calls for it, a companion part extends the same framework: EN 12845-2 addresses the design and installation of early suppression fast response and control mode specific application sprinkler systems. Residential occupancies fall to a separate standard, EN 16925, the Fixed firefighting systems — Automatic residential sprinkler systems — Design, installation and maintenance. The defining characteristic is lifecycle consolidation. Within each of these standards, design, installation, and maintenance are carried together, rather than being divided across separate design and maintenance documents.
The North American model separates installation from residential scope by building height. In the United States, the installation standard is NFPA 13, the Standard for the Installation of Sprinkler Systems. For residential occupancies the basis shifts with the height of the building. Up to and including 18 m (60 ft), the designer may use NFPA 13R, the Standard for the Installation of Sprinkler Systems in Low-Rise Residential Occupancies, or may design to full NFPA 13. NFPA 13R carries system cost advantages within its residential scope, which often favours its use, but NFPA 13 remains available below that height and is sometimes preferred. Above 18 m, NFPA 13R is no longer permitted, and NFPA 13 governs. A separate standard, NFPA 13D, covers one- and two-family dwellings and manufactured homes.
The European basis mirrors this structure. Below 18 m a designer may use EN 16925 or design to EN 12845-1, and above 18 m EN 16925 no longer applies. In both systems the residential standard is an available option within its height scope, not a mandated one, and in both the threshold sits at 18 m. That alignment is one of the more striking points of agreement between the two systems, and this comparison returns to it in the hydraulic section.
The FM Global model is prescriptive guidance built on a separate framework. FM Global does not follow the same rules as NFPA 13 for installation and hazard classification. Its installation basis is Data Sheet 2-0, Installation Guidelines for Automatic Sprinklers, and its occupancy demands are set in the occupancy-specific data sheets, principally Data Sheet 3-26 for nonstorage occupancies. Storage is handled separately

again, in the 8-series data sheets such as Data Sheet 8-9, Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities. An FM design begins from the occupancy sheet, not from a hazard class, and the design demand originates there.

The table below sets the three bases side by side for the sprinkler family.

Function	NFPA	EN	FM Global
Commercial / industrial design and installation	NFPA 13	EN 12845-1	Data Sheet 2-0 with Data Sheet 3-26
ESFR and CMSA systems	NFPA 13, Chapters 22 and 23	EN 12845-2	Data Sheet 8-9 and related
Residential	NFPA 13R or NFPA 13 (to 18 m); NFPA 13 (above); NFPA 13D for dwellings	EN 16925 or EN 12845-1 (to 18 m); EN 12845-1 (above)	Data Sheet 3-26, residential provisions
Storage	NFPA 13, Chapters 20–26	EN 12845-1, high-hazard storage provisions	8-series, e.g. Data Sheet 8-9
Inspection, testing, and maintenance	NFPA 25	Bundled into EN 12845-1	Data Sheet 2-81

The maintenance row is the one to watch. EN 12845-1 includes maintenance in the same standard. NFPA and FM use separate documents: NFPA places maintenance in NFPA 25, the Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems, and FM in Data Sheet 2-81, Fire Protection System Inspection, Testing and Maintenance.

How Each System Divides Hazard

Before a designer can choose a density, the building must be placed in a hazard class. All three systems do this. None of them do it the same way, and they do not even use the same number of classes.

Each system has its own set of classes.

NFPA 13 uses seven classifications: Residential, Light Hazard, Ordinary Hazard Group 1, Ordinary Hazard Group 2, Extra Hazard Group 1, Extra Hazard Group 2, and Storage.

EN 12845 uses Light Hazard, then four Ordinary Hazard groups (OH1 to OH4), then High Hazard. High Hazard is split into two tracks: High Hazard Process (HHP1 to HHP4) and High Hazard Storage (HHS1 to HHS4). It has no Extra Hazard class.

FM Global, in Data Sheet 3-26, uses three main categories for nonstorage occupancies: HC-1, HC-2, and HC-3. Residential is treated as HC-1. Storage is handled separately, in the 8-series data sheets.

These lists are not three versions of the same ladder. They are three different ladders. The number of classes differs, the boundaries between classes differ, and the density assigned to each class differs. A class in one system does not convert to a class in another by matching the name or the position in the list.

The clearest way to see this is to stop comparing labels and compare water instead. NFPA 13 Light Hazard calls for 4.1 mm/min. EN 12845 Light Hazard calls for 2.25 mm/min. The names are identical, but the NFPA density is almost double. In fact, NFPA Light Hazard sits closer to EN Ordinary Hazard Group 1, which is 5.0 mm/min, than it does to the EN class that shares its name. The label “Light Hazard” points to a different level of protection in each system.

This is the trap the rest of this comparison works to expose. A designer who carries a class name from one system into another, and assumes the design comes with it, will get the water wrong.

Matching the Building to the Class

Choosing a hazard class is not a free decision. Each system provides lists and rules that tell the designer where a given building belongs. NFPA 13 gives occupancy examples in its Chapter 4 annex. EN 12845 gives them in Annex A. FM Global gives them in Appendix C of Data Sheet 3-26. A designer reads the building against these lists and selects the class.

The problem is that the same building often lands in a different place in each system. Four common occupancies show how this works, and each one teaches a different lesson.

An office is not always the same class, even inside one system. NFPA 13 places offices, including data processing rooms, in Light Hazard. FM Global places offices in HC-1. EN 12845 is less simple. An office can be Light Hazard or it can be Ordinary Hazard Group 1, and what decides it is compartmentation. EN 12845

Light Hazard applies only where no single compartment is larger than 126 m² with at least 30 minutes of fire resistance. A small, well-divided office meets that limit and is Light Hazard. A large, open-plan office does not, and falls to Ordinary Hazard Group 1. So the same word, “office,” can produce two different classes within EN 12845 alone, before any comparison to NFPA or FM begins.

A parking garage shows how classifications move over time. All three systems now treat a parking garage as a higher hazard than a reader might expect. NFPA 13 classifies automobile parking garages as Ordinary Hazard Group 2. This was a change: garages were previously Ordinary Hazard Group 1, and the move to OH2 raised the required density. EN 12845 also places car parks in Ordinary Hazard Group 2. FM Global classifies parking garages and car parks as HC-3, its highest nonstorage category, a position it moved to in 2011. A designer working from an older reference, or from memory, can easily carry the wrong class. Classifications are not fixed for all time. They are revised as fire experience accumulates.

An apartment building is classified by height. For apartments, all three systems begin from a residential basis, but the governing document depends on building height. As covered earlier, below 18 m a designer may use a residential standard, NFPA 13R or EN 16925, or may design to the full commercial standard. Above 18 m the residential standards no longer apply, and NFPA 13 or EN 12845 governs, where the dwelling is treated as Light Hazard. FM Global treats residential occupancies as HC-1 at all heights. The apartment is the occupancy where the two systems align most closely, sharing the same 18 m threshold, a point the hydraulic comparison returns to.

A data center is the hardest case, and the most important to get right. This is where classification most often goes wrong, and the error can be serious. Under NFPA 13, the term “data processing” means the space where people enter data. It is an office, and it is Light Hazard. It does not mean a data center, where equipment stores and processes data with little human presence. A data center is a different occupancy, and NFPA 13 Light Hazard is not the correct design basis for it.

This distinction is easy to lose, and the loss is expensive. EN 12845 Annex A lists “data processing (computer room, excluding tape storage)” under Ordinary Hazard Group 2. Because the words “data processing” appear in both systems, and because terms shift in translation, some designers map a modern data center onto a general Ordinary Hazard class, and some reach for OH1. Neither is appropriate for a data center occupancy.

The correct sources are dedicated documents. FM Global Data Sheet 5-32, Data Centers and Related Facilities, is the only published prescriptive design guidance for data centers today. NFPA addresses them in NFPA 75, the Standard for the Fire Protection of Information Technology Equipment, which is separate from NFPA 13. NFPA 75 is currently in revision, and its 2028 first draft anchors data center design at NFPA 13 Ordinary Hazard Group 1, adjustable only upward where a fire risk assessment warrants. That draft is a proposal and is not yet published. The same first draft removes “data processing” from the NFPA 13 Light Hazard examples, closing the very gap that has caused designers to under-classify these buildings. The growth of lithium-ion battery installations in and around data centers adds a further fire behaviour that no traditional ceiling density was built to address, which is another reason a data center belongs under dedicated guidance and not a general hazard class.

Matching Protection to the Client

The previous sections establish that the three systems classify hazard differently and place the same building in different classes. A designer might reasonably ask which classification to trust. The question has no answer in the abstract, because the systems were built to serve different objectives. The answer depends on the client.

Fire protection serves a purpose defined by the person who owns the risk. Two boundaries frame that purpose. Below, there is a floor: the governing code and the authority having jurisdiction mandate a minimum level of protection for life safety, and no design may fall beneath it. This floor is not the designer’s to move. Above the floor, there is judgement: the client’s tolerance for the loss of property, operations, and irreplaceable contents, which the designer must assess and serve. A design that meets the code minimum and stops there has satisfied the law. It has not necessarily satisfied the client.

Assessing that tolerance is the first real act of design. It asks what the building protects, what its loss would cost, and how much of that cost the client is willing to carry. A building whose contents are worth many times its structure, or whose downtime would end the business inside it, calls for a level of protection that

a life-safety minimum was never intended to provide. This is precisely the gap that an insurer's standard is written to close. It is why a data center or a high-value manufacturing plant is so often designed to FM Global data sheets rather than to a minimum standard alone: the client's exposure is the asset and its continuity, not only the safety of the people present.

This is where command of all three systems becomes a professional necessity rather than an academic interest. A designer who knows only one system can apply only what that system prescribes. A designer who understands all three can weigh them: recommend the minimum standard where life safety is the governing concern, recommend or exceed toward the insurer's basis where asset protection dominates, and explain the trade-off to the client in terms of cost and consequence. The decision remains the client's to make. The designer's duty is to inform it, and that duty cannot be discharged from inside a single standard. Knowing the tools is what allows the right one to be chosen.

What It Means in Water

The differences in the previous sections are not abstract. They end in a number: the flow, in litres per minute, that a system must supply. This section takes four common occupancies and designs each one under all three systems, to show how far apart those numbers can be.

One point must be clear before the tables. Each row is a single real building, designed in turn under NFPA, EN, and FM. The building does not change. What changes is the class each system assigns it and the water that follows. So these tables are not saying the classes are equal. They are saying the opposite: the same building draws a different amount of water depending on the system used to design it. Total demand below is the sprinkler flow, calculated as density multiplied by design area, before any hose allowance.

Parking Garage

A parking garage at a 3 m ceiling, with standard coverage sprinklers.

Standard	Hazard	System	Density	Design Area	Total Demand
NFPA 13	OH2	Wet (QR)	8.1 mm/min	84 m²	680 L/min
NFPA 13	OH2	Wet (SR)	8.1 mm/min	140 m²	1,134 L/min
NFPA 13	OH2	Dry	8.1 mm/min	182 m²	1,474 L/min
EN 12845	OH2	Wet	5.0 mm/min	144 m²	720 L/min
EN 12845	OH2	Dry	5.0 mm/min	180 m²	900 L/min
FM Global	HC-3	Wet	12 mm/min	230 m²	2,760 L/min
FM Global	HC-3	Dry	12 mm/min	330 m²	3,960 L/min

The garage is a useful first case because NFPA and EN even agree on the class: both call it Ordinary Hazard Group 2. Yet the EN density is 5.0 mm/min and the NFPA density is 8.1 mm/min, so the demand differs even where the label matches. FM Global classifies the same garage as HC-3 and reaches a far higher number again. A wet FM design asks for 2,760 L/min where a wet EN design asks for 720 L/min. The building is identical. The water demand differs by a factor of nearly four.

Office

An office at a 3 m ceiling, wet system. Under NFPA 13, Light Hazard occupancies must use quick-response sprinklers, a requirement in place since the 1996 edition, so only the quick-response row applies.

Standard	Hazard	Density	Design Area	Total Demand
NFPA 13	Light Hazard (QR)	4.1 mm/min	84 m²	344 L/min
EN 12845	LH (compartmented)	2.25 mm/min	84 m²	189 L/min
EN 12845	OH1 (open-plan)	5.0 mm/min	72 m²	360 L/min
FM Global	HC-1	4 mm/min	140 m²	560 L/min

The office shows the compartmentation point from the previous section in numbers. A compartmented office is EN Light Hazard at 189 L/min. An open-plan office of the same floor area is EN Ordinary Hazard Group 1 at 360 L/min, nearly double, and the only thing that changed was the internal walls. Across the systems, the same office ranges from 189 to 560 L/min. All three systems call this their lightest occupancy,

and they still disagree by a factor of three.

Apartment

An apartment building, wet system, with the residential design point of four sprinklers at 4.9 by 4.9 m spacing, K4.9 sprinklers flowing 49 lpm at 0.5 bar.

Standard	Applicability	Basis	Density	Design Area	Total Demand
NFPA 13R	To 18 m	Residential	2.1 mm/min	95.1 m²	200 L/min
NFPA 13	Above 18 m	Light Hazard (QR)	4.1 mm/min	84 m²	344 L/min
EN 16925	To 18 m	Residential	2.1 mm/min	95.1 m²	200 L/min
EN 12845	Above 18 m	Light Hazard	2.25 mm/min	84 m²	189 L/min
FM Global	All heights	HC-1	4 mm/min	95.1 m²	380 L/min

The apartment is the closest the systems come to agreement. In the residential band, below 18 m, NFPA 13R and EN 16925 land on the same 200 L/min, because both use the same residential density and the same four-sprinkler design point. But the agreement ends at the 18 m line. Above it, the same dwelling is 344 L/min under NFPA 13 and 189 L/min under EN 12845. So the two systems agree most in the residential band and diverge again the moment the building crosses into the commercial standards, which is the reverse of what a designer might expect.

Data Center

The data center is shown differently, and on purpose. It carries no demand figure here, because a single density does not describe it. As the previous section explained, a data center is not a general hazard-class occupancy. It belongs under dedicated guidance.

Standard body	Governing basis for a data center
NFPA	Not NFPA 13 Light Hazard. NFPA 75 governs; its 2028 first draft anchors design at Ordinary Hazard Group 1, adjustable upward by risk assessment. The draft is a proposal, not yet published.
FM Global	Data Sheet 5-32, Data Centers and Related Facilities, is the governing document. Data Sheet 3-26 Appendix C, Table C-1, separately places IT facilities at HC-2, above the HC-1 assigned to offices, but directs the data center itself to Data Sheet 5-32.
EN	No dedicated EN data center standard. Annex A places “data processing (computer room)” in OH2, but a modern data center is not adequately described by a general Ordinary Hazard class.

The data center is the case where a designer must exercise judgement rather than read a number from a table. Today, FM Global Data Sheet 5-32 is the only published prescriptive design guidance. Any other route is a performance-based design that rests on the design professional’s own expertise and experience. Even FM Global’s general nonstorage data sheet, Data Sheet 3-26, places IT facilities at HC-2 in its Appendix C occupancy table, above the HC-1 it assigns to an office, before directing a data center to the dedicated Data Sheet 5-32. What is certain, across every system, is that NFPA 13 Light Hazard is not the correct application for a data center.

Conclusion

Consider the office once more. Three systems classify it as their lightest occupancy, yet the design demand for a single room ranges from 189 to 560 litres per minute. The label agrees. The water does not.

The reason is not that one system is careless and another cautious. It is that they answer different questions. NFPA and EN 12845 set a minimum for life safety and property protection. FM Global sets a level of protection that limits an insurer’s loss on the asset it covers. A higher FM density is not evidence that NFPA or EN is inadequate, any more than a lower EN density is evidence that FM is excessive. Each is correct for the question it asks. This is why “which system is best” is the wrong question. A system is not good or bad in isolation. It is fit or unfit for a client’s purpose, and the designer’s task is to know the purpose first and then choose the tool that serves it, above the minimum the code requires and never below it.

The systems share a vocabulary of hazard classes and design densities that makes them appear interchangeable. They are not. One binds the life of a sprinkler installation into a single document; another divides it across several. A hazard class in one sits at a different level in another. A parking garage is Ordi-

nary Hazard in two systems and the highest nonstorage category in a third. An office changes class on the strength of an internal wall. A data center is not a light-hazard space in any of them, whatever a shared term such as “data processing” may imply.

The data center is also where the arc of this study reaches its point. It is the occupancy that no longer fits the prescriptive box. Its fire load, its density, and now the lithium-ion batteries within it have outrun the tidy classifications the standards were built on, and the designer is pushed from prescription into performance, from reading a table to defending an analysis matched to what the client stands to lose. More occupancies will follow it. As they do, the discipline this study calls for becomes more important, not less. Assess the client’s risk before reaching for a standard. Design to one system at a time, and to the whole of it. Know which question each system was written to answer, and choose accordingly. A class name, a density, or a design area cannot be carried from one system into another on the assumption that it holds. The sprinkler on the ceiling looks identical everywhere. The judgement that put it there, and the purpose behind that judgement, does not.

References

European Committee for Standardization. (2015). EN 12845:2015. Fixed firefighting systems — Automatic sprinkler systems — Design, installation and maintenance. CEN.

European Committee for Standardization. (2018). EVS-EN 16925:2018. Fixed firefighting systems — Automatic residential sprinkler systems — Design, installation and maintenance. CEN.

FM Global. (2025). Property loss prevention data sheet 2-0: Installation guidelines for automatic sprinklers. Factory Mutual Insurance Company.

FM Global. (2026). Property loss prevention data sheet 2-81: Fire protection system inspection, testing and maintenance. Factory Mutual Insurance Company.

FM Global. (2025). Property loss prevention data sheet 3-26: Fire protection for nonstorage occupancies. Factory Mutual Insurance Company.

FM Global. Property loss prevention data sheet 5-32: Data centers and related facilities. Factory Mutual Insurance Company.

FM Global. Property loss prevention data sheet 8-9: Storage of Class 1, 2, 3, 4 and plastic commodities. Factory Mutual Insurance Company.

National Fire Protection Association. (2025). NFPA 13: Standard for the installation of sprinkler systems (2025 ed.). NFPA.

National Fire Protection Association. (2025). NFPA 13D: Standard for the installation of sprinkler systems in one- and two-family dwellings and manufactured homes (2025 ed.). NFPA.

National Fire Protection Association. (2025). NFPA 13R: Standard for the installation of sprinkler systems in low-rise residential occupancies (2025 ed.). NFPA.

National Fire Protection Association. (2026). NFPA 25: Standard for the inspection, testing, and maintenance of water-based fire protection systems (2026 ed.). NFPA.

National Fire Protection Association. NFPA 75: Standard for the fire protection of information technology equipment (2028 ed., first draft). NFPA.

CURRICULUM VITAE

Mark E. Fessenden, MBA (mfessenden@ifsa.global) is the Managing Director and CEO of the International Fire Suppression Alliance (IFSA) where he focuses on the advancement of water-based fire protection around the world. For over three decades he has been focused on the development of innovative technologies targeted at solving our industries most pressing challenges.

FOUR INCIDENTS INVOLVING AN ELECTRIC VEHICLE BATTERY IN FINLAND IN 2025 - LESSONS LEARNED

Vesa Linja-AHO

ABSTRACT

Electrification of road traffic introduces new risks for many sectors involving road traffic, from repair workshop floor to rescue personnel. In this paper, four notable incidents from year 2025 involving an electric vehicle battery are reviewed to identify and learn from practical risks. In the first event, a plug-in hybrid vehicle (PHEV) caught fire in an underground parking facility in Tampere, resulting in large-scale financial losses as tens of vehicles burned and the building was damaged. The second incident in Kerava involved only one battery electric vehicle (BEV) but lead to one injured firefighter as well as smoke damages inside a large supermarket, making it large-scale accident. In addition to the parking facility fire incidents, two workshop accidents involving an electric vehicle took place. In a heavy vehicle workshop in Kotka, a service technician accidentally short-circuited a part of the battery system in an electric bus, resulting in high energy arc flash incident. The bus suffered damages to the chassis due to melting, but the technician was only mildly injured. In the last accident, a technician in Kuopio drilled to a passenger car traction battery due to chain of events starting from choosing a wrong tool. The mechanical damage to the battery lead to a fire which was tough to extinguish. The paper discusses the hazards behind these incidents and proposes how to decrease the probability of similar accidents from happening and how to mitigate the consequences.

Key words: electric vehicle safety, lithium-ion battery safety, vehicle fire safety

SUMMARY

In Finland, four notable events involving an electric vehicle battery happened in 2025. First, two different underground parking fires gave lessons on the importance of early detection of battery thermal event as well as protecting the rescue staff from the toxic agents (hydrogen fluoride). While the firefighter's suit protects from harmful substances while dry, being under working sprinkler system may lead to exposing to toxins which dissolve from air to the water from the sprinkler and reach the skin of the firefighter as the suit gets wet. Second, two workshop events remind the importance of both worker safety training as well as the role of product design to prevent situations where the worker has high change to perform a hazardous shortcut or misconnection. If the battery can be short circuited by just choosing a wrong connector, eventually someone will do it. The workers should be also trained to react to unexpected situations which are not described in the workshop manual.

Introduction

As electric vehicles become more common, also accidents involving electric vehicles become more common. Electric vehicles (EVs) can be classified to battery electric vehicles (BEV), which have a rechargeable traction battery system and electric motor(s) but no internal combustion engine, plug-in hybrid vehicles (PHEV) which have an internal combustion engine in addition to the rechargeable electric powertrain. In addition, many non-rechargeable vehicles utilize hybrid technology to decrease fuel consumption. This kind of hybrid electric vehicles (HEVs) have a small battery which cannot be recharged from external electrical energy outlet, but the battery is used to optimize the efficiency of the internal combustion engine and for braking energy recuperation.

In terms of fire safety, the battery size increases when the degree of electrification increases. Modern BEVs have typically a lithium-ion battery with capacity of 40–100 kWh, whereas PHEVs usually have a 10–30 kWh battery, and HEVs a small battery around 1 kWh of storage capacity. Smaller and larger batteries do exist, but most passenger cars fit to beforementioned capacity ranges.

Non-rechargeable HEVs manufactured in the 2010's or before may have a NiMH battery, but practically all BEVs and PHEVs have a lithium-ion battery. The battery voltage level is typically 400 V or 800 V and the short circuit current is high, which induces risks of electrical shock and an arc flash. These risks concern practically only the service technicians, as the occupants can be protected from these hazards with technical solutions. For rescue personnel, the risk for arc flash or electrical shock is also low. The main risk in electric vehicles introduce is the lithium-ion battery fire, which can be initiated from misuse or design or manufacturing flaw. When the electric vehicle stock gets older, the number of repair operations increases and therefore the probability for accidents increases [1].

Finland is a small (5.7 million people) and sparsely populated (total land area is 337,030) country with 2.8 million passenger cars of which 193000 are BEVs and 192000 PHEVs (in June 2026 [2]). While electric vehicle battery fires are rare, they still are the most common hazardous event with an electric vehicle. In a study analysing electric vehicle fires in Finland in 2015–2023 [3], 9 BEV fires were recorded, of which 4 involved the lithium-ion battery. If the battery is not involved in the fire, the fire can be treated like a regular car fire.

In this paper, four notable EV related incidents from year 2025 are reviewed: two underground fires of EV origin and two workshop incidents. The events are well-documented and investigated, which makes them of interest in improving safety practices involving EV design and fire safety design and training.

A large-scale parking facility fire from a PHEV in Tampere on 1 October 2025

On 1 November 2025, a large-scale underground parking facility fire destroyed or severely damaged about 50 cars and damaged the building, totalling in damages worth multiple millions of euros [4]. The fire started from a PHEV which was being charged, and it spread quickly, because the parking facility did not have sprinkler system. The parking facility was in two stories underground, under a five-story office building.

Two janitors had smelled "a scent of electrical fire" and one of them called the emergency number at 10:49 [5]. One firefighting unit was dispatched to do reconnaissance in the building. The firefighters, equipped with a powder extinguisher, found grey mist-like smoke floating on the upper floor of the parking facility. Soon the firefighters found a car which was puffing pale smoke from the rear of the car. The car was plugged in to a electric vehicle charging station and the charging indicator light was lit. With thermal imaging camera the vehicle did not look hot. Suddenly, the interior of the car was filled with grey smoke, the firefighters backed away and they heard a puff and a loud boom from the car. The car started to emit black smoke and the firefighters recognised that a powder extinguisher is not adequate for this kind of event returned to fetch the hose line. When returning, the floor was covered with smoke, and the firefighters saw flames near the rooftop. More firefighting units were dispatched and by using excess amount of water and a water cannon, the fire was under control in 45 minutes and finally extinguished.

From the account of the firefighters and the surveillance camera recordings, it was clear that the fire was started from the car and there was no foul play involved. The car had worked perfectly before the fire. In the investigation of the vehicle, the origin of fire was located in the battery pack of the vehicle [4]. Three weeks after the fire, the manufacturer of the car issued a safety recall due to battery fire hazard [6].

An interesting finding was that when the batteries of BEVs and PHEVs damaged in the fire (excluding the

vehicle which started the fire) were opened by a company specialized in vehicle traction battery repair, the batteries seemed unharmed and passed the electrical tests [7]. The only visible sign of fire was a layer of soot on the battery pack. Similar observations were made in the Stavanger airport parking facility fire [8, p. 76], there were no signs of batteries being involved in the fire. While it may seem counterintuitive that the EV batteries did not involve in the fire, it is technically feasible: the batteries are well protected and enclosed, and they weigh hundreds of kilograms. Heating such a mass from room temperature to over 100 °C by burning something over (not under) the battery, is like trying to boil water by making a fire over a large water cauldron. In a controlled experiment done outdoors, BEV fire propagated slowly to an adjacent PHEV, and finally ignited the battery [9]and the fire dynamics of EVs parked in rows are still unclear. Hence the fire evolution process and characteristics of two parallel placed EVs were studied by analyzing the burning behaviors and thermal fields. The fire source was the battery pack of a battery electric vehicle (BEV. Further research is needed to study the behaviour in confined spaces, especially if the firefighting response is slow. With current evidence, external heat is not a primary threat for batteries and in parking facility fires, the fire brigade typically has to deal with only one battery fire, not a chain of battery fires in different vehicles.

From the surveillance camera videos, it could be analysed that the vehicle was emitting smoke over 30 minutes before the vehicle bursted in flames. It is very common that if a large lithium-ion battery fails, it does not ignite immediately. Detecting a battery fire with smoke detectors or temperature sensors fitted in the building is not easy, as the smoke emitted in early phase of thermal runaway typically is heavier than air and does not reach sensors in the building. One possible solution to enhance fire safety of electric vehicles could be coupling the vehicle battery management system to eCall [10] system so that the car could call the emergency number and report that the battery is having a possible thermal runaway. The sooner professional firefighters arrive the scene, the better is the possibility to limit the consequences of the fire, and in some cases the traction battery pack could be cooled down before the battery fault escalates to an actual battery fire. In addition, the firefighters could immediately proceed with cooling the battery, when they know that the smoke is coming out from the battery and not from the air conditioning system or some other reason.

A BEV fire in supermarket parking garage in Kerava on 3 October 2025

Two days after the Tampere fire, an electric vehicle ignited in an underground parking facility under a supermarket. The vehicle was a BEV taxi which was connected to a DC fast charger.

As the fire happened at night the parking facility was nearly empty. The fire brigade was alerted at 1:40 at night, couple of minutes from the smoke observation at security cameras of the supermarket [11]. Six sprinkler nozzles were activated when the fumes from the battery caught fire. From the fire brigade, it took 40 minutes to extinguish the fire and cool down the battery. The battery did ignite once more, but the extinguishing operations were over before 3:00 at night. After 4:00, the wreck of the car was towed away from the parking facility and transported away to a safe place. It was noted that at night it was difficult to find an available tow truck which did fit into the parking hall with low ceiling.

Although only one vehicle burned, the fire caused smoke damages for the supermarket, which stayed closed for two days after the incident [12]. One firefighter was injured in the Kerava incident. As personal health information is highly protected according to national legislation, no details of the injury were first released to the media [13]. Later, the firefighter wrote about his injury in the firefighter's professional magazine Pelastustieto [14]. The firefighter was exposed to hydrogen fluoride from the battery fire and developed polyneuropathy (ICD-10 G62.2). The exposure happened probably while the firefighter was working near the vehicle: the sprinkler system of the building was active, and the water spray from sprin-

klers dissolved the hydrogen fluoride from the smoke from battery fire, and rained on the suit of the fire-fighter [11].

An arc flash incident in a heavy vehicle workshop in Kotka on 10 November 2025

On 10 November 2025, a worker was mildly injured in an arc flash accident in a heavy vehicle workshop in Kotka, while doing troubleshooting on an electric city bus (BEV) [15]. According to the work safety authorities investigation report [16], the technician was troubleshooting an electrical insulation fault in the high voltage system of the bus. When reconnecting the wiring of the battery modules, the worker first accidentally connected the positive wire of the battery system to the negative terminal of the relay box of the vehicle. Next, he connected the negative wire to the negative terminal, resulting in a short circuit and an arc flash (see Figure 1).

The investigation report points out that despite both terminals are color-coded, the relay box is not well protected from dust which makes it hard to distinguish the correct wires, especially when working under the vehicle in poor lighting. In addition, the terminals have the same mechanical dimensions which makes it possible to mix the wires. The inspector writes that the company shall ensure that the lighting is adequate when working, the connectors are cleaned from dust, and the work is done with extreme caution.

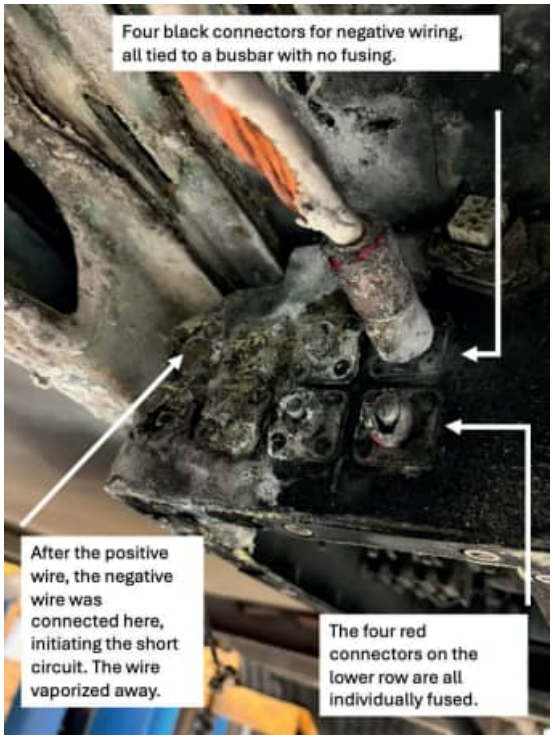


Figure 1 The relay box after the incident. The arc flash energy melted holes to the underbody structure of the bus. Picture: author.

It can be discussed that even if the technician is careful, the wires are clean and the lighting is adequate, there is still a chance for human error. Such accidents should be prevented by design, for instance using poka-yoke (i.e. choosing connectors which only fit to their correct receptables). The battery modules involving the incident had a total voltage of 670 V and a capacity of 60 kWh. The manufacturer does not disclose the short-circuit current but for batteries with such capacity, it is typically a 5-digit number and the released energy multiple megajoules.

The technician got only a mild burn in his wrist, as he was wearing arc flash protective PPE and when the incident happened, he backed away immediately. The bus was on a vehicle lift, which is the case in modern well-equipped workshops. If the work had been done in smaller or ad-hoc workshop, it could have been the case that the worker was lying under the bus with no means to escape the arc flash quickly.

This kind of accident is not unique in electric vehicle repair. In May 2022 in Finland, a technician short-circuited two 60 V battery modules as a loop, causing a short circuit and small-scale battery fire [1]. In Norway, a training engineer injured severely when he worked in an energized system of electric bus with non-insulated tools and caused a short circuit. The engineer was not wearing arc flash protective clothing and face shield, and his clothes caught fire in the incident. He was hospitalized for four weeks in the hospital burns unit [17].

A BEV fire in a workshop in Kuopio 3 December 2025

On 3 December 2025, an accident happened in a passenger vehicle repair shop in Kuopio, Finland. A local newspaper reported [18] that a passenger car under repair caught fire at a workshop around 13:00 in the afternoon. The traction battery caught fire and due to fierce smoke generation, the personnel fled the repair shop and did not try first extinguishing. The fire brigade cooled down the vehicle with water and towed the vehicle outside. The building was ventilated and the workshop resumed normal operations in the afternoon. The reactions in the battery continued for at least two hours and the firefighters had to continue cooling it down. Finally, the fire brigade decided to immerse the vehicle in water to prevent re-ignition [19].

According to the work safety authorities investigation report [20], the fire started because the service technician accidentally drilled into the battery. The technician was replacing a broken integrated charge control unit (ICCU) for a BEV (see Figure 2). The ICCU unit is mounted directly on the car floor under the rear seat and the traction battery is therefore directly under the battery [21]. He used a high duty pneumatic bolt gun to open and tighten the bolts holding the unit in its place, despite of the fact that the rated torque for the bolts is about 10 Nm. The high torque of the bolt gun caused one of the bolts to snap broken. After the first bolt snapped, the technician tried to reopen all the bolts, causing also another bolt to snap. The technician was able to loosen the first broken bolt with locking pliers, but the other was snapped so short that it could not be removed with the pliers. The technician decided to drill the bolt away. He first drilled through the bolt with a 3 mm and then a 5 mm drill bit, but when he next used a 7 mm drill bit, the drill suddenly nudged deep into the battery, and the battery started to emit smoke. The workshop was evacuated and fire brigade called. The car caught fire when the fire brigade started to move it outside. 11 workshop employees were exposed to the fumes and smoke from the battery.



Figure 2 The ICCU unit (marked with red arrow) in the wreck of the vehicle [20]

The immediate reason for the accident was using wrong tools and methods twice: first, using a powerful pneumatic bolt gun when a hand tool and a torque tool would be the correct one, caused the bolts to snap. Drilling directly upon the battery is not safe either. In addition, the car manufacturer's and the workshop's internal instructions did neither discuss the hazards of the battery nor had instructions for exceptional situations [20]. The investigation report also points out that in the workplace risk and hazard assessment (required by the Finnish work safety law) did not mention high voltage batteries at all.

It can be argued that lowering the risk for such an accident should also be done by design: having bolts directly over battery cells makes it always possible that a bolt snaps by worker's mistake and trying to remove the bolt leads to damaging the battery. Using simple downward bolts upon the battery is not the only solution to fix the unit in its place, and by re-engineering the fastening solution such accident risk could be drastically minimized. The ICCU unit has had several internal engineering faults [22], [23], [24], [25], which leads to high number of units to be replaced and therefore increased probability of a workplace accident.

One issue is that the stereotypical "big problems need a big hammer" -attitude (or solving problems by using the nearest tool and/or excess force without thinking the possible consequences) in the repair workshop culture does not suit well for working with lithium-ion batteries.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Electric vehicle fires involving the traction battery are rare but difficult to extinguish. Although the low occurrence rate is obviously the desired state, the drawback is that firefighters do not have routine for recognizing and extinguishing an electric vehicle battery fire. Firefighter training should include extinguishing exercise with a real electric vehicle, to concretize the behaviour of the fire and the re-ignition risk. Such exercises could be recorded and published so they will benefit the global fire safety community.

The best way to extinguish an electric vehicle is still being discussed: should the vehicle be immersed? Should the battery be accessed with a high-pressure cutter or a penetration tool? Or should the fire brigade just use the traditional hose line to strike down the flames? In Finland, almost every electric vehicle fire has been extinguished successfully with traditional hose line, using a large amount of water [3]. In some cases, the car has been immersed to water to prevent re-ignition. While water immersion will undeniably prevent the re-ignition while the vehicle is immersed, it damages the car permanently and destroys evidence for the fire investigation. In addition, it is not 100% certain that being immersed will empty the electrical energy from the battery, and the vehicle can re-ignite when it is taken out from the immersion. The rescue guides prepared by the vehicle manufacturers generally do not recommend immersion and some warn about using it.

While a simple container for immersing a vehicle is not expensive, many alternative firefighting tools, such as vehicle fire blankets, penetration tools and high-pressure cutters are. The effect of such tools should be reviewed in independent third-party tests: for every product it is possible to find a test setup where it works perfectly, and which will result in an attractive advertisement video.

For repair workshop safety, the personnel should be trained how to react in unexpectable situations. For instance, if a bolt near the traction battery snaps when being tightened: should you just rush to complete the work, or stop work and have a short meeting with your colleagues – and supervisor – how the work is finished safely? For instance, the Kuopio drilling incident could have been possibly avoided if after breaking the bolts, the work had been done outside and with extreme caution. For instance, the bolt could have been removed possibly by just drilling smaller hole to it and screwing a special screw tool inside the bolt. In all cases, it is possible that something falls inside the battery and causes a fault, and therefore such work should not be done inside a building.

REFERENCES

[1] V. Linja-aho, “Assessing the Electrical Risks in Electric Vehicle Repair: Results for use in Developing Safe Working Practices and Regulations,” *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 30, no. 5, pp. 32–41, Sep. 2024, doi: 10.1109/MIAS.2024.3387142.

[2] Traficom, “Vehicle Stock Statistics.” Accessed: Jul. 20, 2026. [Online]. Available: https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot

[3] V. Linja-aho, “Perceived and Actual Fire Safety – Case of Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2023,” *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 19, pp. 1313–1328, 2023, doi: 10.37394/232015.2023.19.119.

[4] Central Finland Police Department, “Parkkihallipalo Tampereella 1.10.2025 – Palonsyyntutkinnasta ja akkupalojen vaarallisuudesta.” [Online]. Available: https://poliisi.fi/-/parkkihallipalo-tampereella-1.10.2025-palonsyyntutkinnasta-ja-akkupalojen-vaarallisuudesta

[5] M. Partanen, “A hybrid car spread the fire fast – quick extinguishing, long clearing,” *Pelastustieto*, no. 6, 2026.

[6] B. Roman, “Audi A6, A7, and Q5: The HV battery may overheat during charging,” *Car-Recalls*, Nov. 03, 2025. Accessed: Jul. 20, 2026. [Online]. Available: https://car-recalls.eu/audi-a6-a7-q5-hv-battery-overheat-charging-kba/

[7] “Korjaamoinsinööri Tampereen parkkihallipalon sähköautoista: ”Voisin asentaa palossa olleen akun omaan autooni”,” Yle Uutiset. Accessed: Jul. 29, 2026. [Online]. Available: https://yle.fi/a/74-20195447

[8] K. Storesund, C. Sesseng, O. A. Holmvaag, and A. Steen-Hansen, “Evaluation of fire in Stavanger airport car park 7 January 2020,” RISE Research Institutes of Sweden, 2020. [Online]. Available: https://risefr.com/media/publikasjoner/upload/2020/rise-report-2020-91-evaluation-of-fire-in-stavanger-airport-cark-park-7-january-2

[9] Y. Cui, J. Liu, B. Cong, X. Han, and S. Yin, “Characterization and assessment of fire evolution process of

electric vehicles placed in parallel," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 166, pp. 524–534, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.psep.2022.08.055.
[10] European Union, "eCall 112-based emergency assistance from your vehicle." [Online]. Available: https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index_en.htm
[11] K. Kaisto, "Two adjacent EV fires was a wake-up call for us," *Pelastustieto*, no. 3, pp. 38–39, 2026.
[12] Silja Laitinen, "Tilanne kärjistyi Prismassa: Tältä paikalla näytti," *Iltalehti*. [Online]. Available: https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/f4d384b5-6716-4d6a-a67d-4d72f70d65d2
[13] "Prisma-palo: Pelastaja loukkaantui, mutta vahinko havaittiin vasta myöhemmin." [Online]. Available: https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/ebac4af7-e0c5-494e-8797-6ceb7090093a
[14] M. Kontinen, "Patient Zero," *Pelastustieto*, no. 3, pp. 60–62, 2026.
[15] J. Vehkaluoto, "Korjaushallissa olleesta sähköbussista lähti valokaari Kotkassa – Yksi henkilö loukkaantui," Kymen Sanomat. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.kymensanomat.fi/paikalliset/8985955
[16] Regional State Administrative Agency, "Occupational safety and health inspection report," ESAVI/43351/2025, Dec. 2025.
[17] "Valokaari sytytti vaatteet palamaan, insinööri kuukaudeksi sairaalaan – Norjan vakavan sähköbussitapaturman käsittely loppusuoralla." Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://www.sil.fi/uutiset/valokaari-sytytti-vaatteet-palamaan-insinoori-kuukaudeksi-sairaalaan-norjan-vakavan-sahkobussitapaturman-kasittely-loppusuoralla/
[18] A. Tenhunen, "Pelastuslaitos sai estettyä jatkovahingot sähköauton rajussa palossa Kuopiossa," Savon Sanomat. Accessed: Jan. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.savonsanomat.fi/paikalliset/9048254
[19] A. Tenhunen, "Sähköauton akku jatkoi palamista – Pelastajat lainasivat Pelastusopistolta erikoiskalustoa avuksi," Savon Sanomat. Accessed: Jan. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.savonsanomat.fi/paikalliset/9049143
[20] Regional State Administrative Agency, "Investigation report on workplace accident on 3.12.2025," Work Safety Division, ISAVI/12467/2025, Dec. 2025.
[21] Hyundai, "DTC P1A9096 Check for Iccu & Fuse Replacement & Iccu Software Update (recall 272)." Dec. 2024. Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://static.nhtsa.gov/odi/rcl/2024/RCRIT-24V868-2367.pdf
[22] By, "ICCU Monitor Logs Data In E-GMP EV Failures," Hackaday. Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://hackaday.com/2026/07/25/iccu-monitor-logs-data-in-e-gmp-ev-failures/
[23] Hyundai, "Safety Recall 272: Integrated Charging Control Unit (ICCU)." Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://static.nhtsa.gov/odi/rcl/2024/RCMN-24V868-9385.pdf
[24] "Hyundai's and Kia's Charging Unit Issues Cause Problems for EV Owners," Consumer Reports. Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://www.consumerreports.org/cars/car-recalls-defects/hyundai-ioniq-kia-iccu-failure-tesla-a3038878758/
[25] J. Dow, "Hyundai and Kia will extend warranties for cars with ICCU issues," Electrek. Accessed: Jul. 30, 2026. [Online]. Available: https://electrek.co/2026/04/21/hyundai-and-kia-will-extend-warranties-for-cars-with-iccu-issues/

For references not easily available, please contact the author.

CURRICULUM VITAE

Mr. Vesa Linja-aho is an independent electrical and battery safety expert from Finland. He received his M.Sc. degree in electrical and electronics engineering from the Helsinki University of Technology in 2006. From 2006 to 2009, Linja-aho worked as a university teacher in Helsinki University of Technology. From

2009 to 2020, he worked as Senior Lecturer in Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, teaching automotive electric and electronics and domestic electrical installations. He has specialized in electrical safety and electric vehicles and has authored three national textbooks on battery safety, electronics, and electric vehicle electrical work safety. He has been a certified electrical safety trainer since 2012. From September 2020 till August 2021 Linja-aho worked as a group manager in Finnish electrotechnical standardization SESKO, which is the national member in the International Electrotechnical Commission IEC. Since 2021, Linja-aho has been a full-time electrical safety consultant and textbook author, focusing on battery and electric vehicle safety. Mr. Linja-aho is a Senior Member in the IEEE, and the chair of two Finnish national standardization committees, SK 21 Batteries and Energy Storage Systems and SK 78 Safety at Electrical Work, as well as convenor of IEC maintenance group on electrotechnical terminology (IEC TC 1 MT 100).

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA YANGINLARI: SÖNDÜRME YÖNTEMLERİ VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLER

Murat Kula, Celil Ata Sevindi, Egehan Salim Güngör

ÖZET

Elektrikli araçların hızla yaygınlaşması, lityum-iyon bataryalardan kaynaklanan yangınları, yangın güvenliği açısından yeni ve kritik bir risk alanı hâline getirmiştir. Özellikle şarj süreçlerinde ortaya çıkan ısıl yük, kapalı ve yarı kapalı ortamlarda termal kaçak olasılığını artırırken; açığa çıkan toksik ve yanıcı gazların birikimi, müdahale sürelerini uzatmakta ve operasyonel süreçleri daha karmaşık hâle getirmektedir. Bu çalışma, elektrikli araç batarya yangınlarının önlenmesi ve etkilerinin en aza indirilmesine yönelik bütüncül ve uygulanabilir bir teknik çerçeve sunmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, batarya yangınlarının temel teknik dinamikleri, acil müdahale sırasında karşılaşılan zorluklar ve mevcut söndürme yöntemlerinin sınırlılıkları sistematik bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Risk bileşenleri, çok boyutlu bir karar matrisi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, modüler batarya mimarilerinin, tek parça batarya tasarımlarına kıyasla yangın kontrolü açısından daha yönetilebilir ve bölgesel hâle getirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, hem modüler hem de tek parça sistemlerde söndürme giriş noktalarının tasarıma entegre edilmesi, doğrudan ve etkili müdahale imkânı sağlayan kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Şarj altyapıları özelinde ise erken algılama sistemleri, etkin havalandırma çözümleri ve aktif söndürme mekanizmalarının entegre biçimde kullanılmasıyla, şarj sırasında otomatik ve hızlı müdahale kapasitesinin oluşturulması, risklerin azaltılmasında belirleyici bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışma; batarya tasarımından şarj altyapısına ve acil durum yönetimine kadar uzanan çok katmanlı bir güvenlik modeli önermekte, can ve mal kayıplarını en aza indirmeye yönelik sürdürülebilir ve uygulanabilir mühendislik, yönetişim ve operasyonel çözümler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Batarya yangınları, elektrikli araçlar, termal kaçak, yangın söndürme yöntemleri, yangın güvenliği

ABSTRACT

The rapid proliferation of electric vehicles has introduced battery-related fires originating from lithium-ion systems as a new and critical risk domain in terms of fire safety. In particular, the thermal load generated during charging processes increases the likelihood of thermal runaway in enclosed and semi-enclosed environments, while the accumulation of toxic and flammable gases prolongs response times and complicates operational interventions. This study aims to present a comprehensive and practical technical framework for preventing electric vehicle battery fires and minimizing their impacts. The fundamental technical dynamics of battery fires, challenges encountered during emergency response, and limitations of existing suppression methods are systematically examined. Risk components are evaluated using a multidimensional decision-matrix approach. The findings indicate that modular battery architectures can provide more manageable and localized fire control compared with single-pack designs. In addition, integrating dedicated suppression access points into both modular and integrated battery designs is considered a critical factor for enabling direct and effective intervention. For charging infrastructure, the integrated use of early detection systems, effective ventilation solutions, and active suppression mechanisms is evaluated as a key approach for establishing automatic and rapid response capability during charging. Overall, the study proposes a multilayered safety model extending from battery design and charging infrastructure to emergency management, offering practical engineering, governance, and operational solutions aimed at minimizing loss of life and property.

Keywords: Battery fires, electric vehicles, thermal runaway, fire suppression methods, fire safety

1. GİRİŞ

Elektrikli araç teknolojisi, enerji verimliliği, fosil yakıt bağımlılığının azaltılması ve ulaşım sektörünün elektrifikasyonu açısından son yıllarda önemli bir gelişim göstermiştir. Elektrikli araçların temel enerji depolama birimini oluşturan lityum-ion batarya sistemleri; yüksek enerji yoğunluğu, yeniden şarj edilebilirlik ve uygun güç/ağırlık oranı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte yüksek enerji yoğunluğu, bataryaların güvenlik açısından dikkatle ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Batarya hücrelerinde meydana gelebilecek elektriksel, mekanik veya termal hasarlar; hücre içerisinde kontrol edilemeyen ekzotermik reaksiyonların başlamasına ve termal kaçak (thermal runaway) olarak tanımlanan sürecin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Elektrikli araç batarya yangınlarını geleneksel araç yangınlarından ayıran önemli unsurlardan biri, olayın yalnızca görünür alevin kontrol altına alınmasından ibaret olmamasıdır. Batarya içerisindeki hücrelerin tekrar ısınması ve termal kaçağın yeniden başlaması, yangının görünür olarak kontrol altına alınmasından sonra dahi riskin devam etmesine neden olabilir. Ayrıca termal kaçak sırasında yanıcı ve toksik gazların açığa çıkması, özellikle kapalı veya yarı kapalı otoparklar ve şarj alanlarında önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle elektrikli araç yangınlarının yalnızca "hangi söndürücü kullanılmalıdır?" sorusu üzerinden değerlendirilmesi yeterli değildir. Yangın güvenliği; batarya hücresinin tasarımından başlayarak batarya yönetim sistemi, termal yönetim sistemi, erken algılama, havalandırma, şarj altyapısı, söndürme sistemi ve itfaiye müdahale prosedürlerini kapsayan bütüncül bir sistem olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın temel amacı, elektrikli araç batarya yangınlarının oluşum mekanizmalarını ve müdahale güçlüklerini incelemek; farklı söndürme ve önleme yaklaşımlarını karşılaştırmak, özellikle şarj alanları için çok katmanlı bir yangın güvenliği modeli ortaya koymaktır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA SİSTEMLERİ

Elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemi yalnızca hücrelerden oluşan basit bir enerji depolama birimi değildir. Hücreler çeşitli bağlantı düzenleriyle modülleri, modüller ise bir araya gelerek batarya paketini oluşturur. Batarya paketinin güvenli çalışmasını sağlamak için Batarya Yönetim Sistemi (BMS), sıcaklık sensörleri, gerilim ve akım izleme sistemleri, kontaktörler, sigorta ve koruma elemanları, termal yönetim sistemi, mekanik koruma ve elektriksel izolasyon gibi birçok alt sistem birlikte çalışmaktadır. NHTSA'ya göre elektrikli araç batarya paketleri birbirine bağlı hücreler, donanım ve bataryanın çalışma koşullarını yöneten yazılım sistemlerinden oluşmaktadır [1]. Bataryanın sıcaklığının kontrol altında tutulması güvenlik ve kullanım ömrü açısından önemli bir unsurdur.

2.1. HÜCRE, MODÜL VE PAKET YAPISI

Bataryalar hücre, modül ve batarya paketi olmak üzere üç temel yapıdan oluşur. Hücre, enerjinin depolandığı temel birimdir. Modül, hücrelerin bir araya gelmesiyle; batarya paketi ise modül veya hücre gruplarının birleştirilmesiyle oluşur. Hücreler temel olarak anot, katot, separatör ve elektrolitten oluşur. Şarj ve deşarj sırasında lityum iyonları anot ve katot arasında hareket eder. Katot kimyası, bataryanın ısıl kararlılığını ve yangın davranışını etkiler. Anot ise çoğunlukla grafit esaslıdır. Separatör, anot ve katodun doğrudan temasını önler. Aşırı sıcaklık, mekanik hasar veya üretim hataları nedeniyle zarar görmesi, iç kısa devreye ve ardından termal kaçağa neden olabilir. Bu nedenle separatör, batarya yangın güvenliği açısından kritik bir bileşendir.

3. TERMAL KAÇAK MEKANİZMASI

Termal kaçak, batarya güvenliği açısından en kritik olaylardan biridir. Genel anlamıyla hücrenin ürettiği ısının uzaklaştırılabilen ısı miktarını aşması ve sıcaklık artışının kendi kendini hızlandıran ekzotermik reaksiyonlara dönüşmesi olarak açıklanabilir [2-3]. Termal kaçağın başlangıcında elektriksel zorlama, mekanik hasar, aşırı ısınma ve üretim kaynaklı kusurlar rol oynayabilir. Aşırı şarj, aşırı deşarj, kısa devre, elektriksel

izolasyonun bozulması ve hücreler arası dengesizlik gibi durumlar hücre içerisinde anormal ısı oluşmasına yol açabilir [3]. Kaza, çarpışma, ezilme veya batarya muhafazasının deformasyonu hücrenin iç yapısına zarar verebilir. Yüksek sıcaklık, yetersiz soğutma veya lokal sıcaklık artışı da termal kaçağın başlangıcında etkili olabilir.

4. TERMAL KAÇAĞIN YAYILMASI

Tek bir hücrede başlayan termal kaçak, çevresindeki hücrelere ısı aktarımı sonucunda termal yayılma meydana getirebilir. Süreç genel olarak hücre arızası → sıcaklık artışı → termal kaçak → gaz çıkışı → hücre hasarı → komşu hücrelerin ısınması → termal yayılma → modül/paket yangını şeklinde gelişebilir [4]. Bu nedenle yangının ilk kaynağı küçük olsa bile olayın tamamı yalnızca ilk hücrenin kontrol edilmesiyle sonlandırılamayabilir. Termal bariyerler, hücreler arası mesafeler, soğutma sistemleri ve modül tasarımı bu aşamada önem kazanmaktadır. Ancak termal bariyerlerin tek başına mutlak çözüm olmadığı dikkate alınmalıdır. Çeşitli çalışmalar termal bariyerlerin termal kaçak yayılma hızını azaltabildiğini, ancak uygun tasarım ve ek güvenlik katmanları olmadan yayılmayı tamamen önleyemeyebileceğini göstermektedir [4-5].

5. BATARYA YANGINLARININ ÖZELLİKLERİ

Elektrikli araç batarya yangınlarında yüksek enerji içeriği, gizli ısı kaynakları, yeniden tutuşma riski ve bataryanın konumu itfaiye müdahalesini zorlaştıran başlıca unsurlardır [3]. Batarya dışındaki alevlerin söndürülmesi, hücrelerin tamamen güvenli hâle geldiği anlamına gelmez. Termal kaçak devam eden hücrelerde sıcaklık yeniden yükselebileceğinden olay sonrası sıcaklık takibi önemlidir. Termal kaçak sırasında oluşan gazların özellikleri batarya kimyasına ve olay koşullarına göre değişir. Bu gazlar özellikle kapalı alanlarda yangın ve toksisite riski oluşturabilir [6]. Ayrıca batarya ile araç gövdesi arasındaki yetersiz izolasyon, yangın sırasında oluşan ısının araç içerisine aktarılmasına neden olarak müdahaleyi zorlaştırabilir.

6. KAPALI VE YARI KAPALI ALANLARDA BATARYA YANGINLARI

Elektrikli araçların kapalı otoparklarda ve şarj istasyonlarında kullanımının artması, yangın güvenliği açısından yeni bir senaryo ortaya çıkarmaktadır. Kapalı ortamda dumanın ve toksik gazların birikmesi, yanıcı gazların oluşması, görüş mesafesinin azalması, tahliye süresinin kısalması ve itfaiye müdahalesinin zorlaşması başlıca risklerdir [7]. Petrol yakıt istasyonlarında alınan yangın güvenlik önlemleri hassasiyeti elektrikli araç şarj istasyonları için de aynı seviyede olması gerekmektedir. Bu nedenle kapalı otopark ve şarj alanlarında yangın güvenliği yalnızca söndürme sistemi üzerinden değil, algılama + havalandırma + alarm + enerji izolasyonu + söndürme + tahliye bütünlüğü içerisinde değerlendirilmelidir.

7. ŞARJ SÜRECİNDE YANGIN GÜVENLİĞİ

Elektrikli araçların şarjı sırasında enerji transferi gerçekleştiğinden, şarj altyapısının güvenli tasarlanması önemlidir. Bu kapsamda aşırı akım, kısa devre ve elektriksel arızalara karşı koruma sistemleri; sıcaklık takibi, erken algılama, alarm ve otomatik enerji kesme özellikleriyle birlikte değerlendirilmelidir. AVM ve kapalı otoparklarda, yangına erken müdahale için şarj sistemlerine entegre otomatik söndürme ve soğutma sistemleri kullanılabilir. Özellikle batarya delici nozulların kapalı şarj istasyonunda aktif söndürme sistemleri olarak müdahalesi itfaiye ekipleri olay yerine ulaşana kadar yangının ve batarya sıcaklığının kontrol altında tutulmasına katkı sağlayabilir.

8. HAVALANDIRMA VE GAZ YÖNETİMİ

Termal kaçak sonucunda oluşan Karbon Monoksit (CO) Hidrojen Florür (HF) Fosforil Florür (POF3) gazları

ortam içerisinde yayılabilir [5], belirli bölgelerde birikebilir ve yeterli konsantrasyona ulaşması durumunda yanma/patlama riski oluşturabilir. Toksik maruziyet de ayrıca değerlendirilmelidir. Bu nedenle kapalı otopark ve şarj alanlarında havalandırma sistemlerinin yalnızca normal kullanım şartlarına göre değil, yangın senaryolarına göre de değerlendirilmesi gerekir. Havalandırma tasarımında gazların güvenli yönde uzaklaştırılması, personel maruziyetinin azaltılması, tahliye yollarının korunması, yanıcı gaz birikiminin önlenmesi ve yangın sırasında hava akışının yangını olumsuz yönde etkilememesi gibi parametreler birlikte ele alınmalıdır.

9. BATARYA MİMARİSİNİN YANGIN GÜVENLİĞİNE ETKİSİ

Bu çalışmada modüler batarya mimarisi ile tek parça/entegre batarya mimarisi yangın güvenliği açısından karşılaştırılmıştır. Modüler sistemlerde batarya birden fazla fiziksel ve işlevsel modülden oluşmaktadır. Bu tasarımın potansiyel avantajı, olayın belirli bir modül içerisinde sınırlandırılabilmesidir. Modüller arasında termal bariyer, fiziksel ayırma, kontrollü gaz tahliyesi, soğutma ve algılama gibi sistemlerin uygulanabilmesi mümkündür. Daha bütünleşik batarya mimarileri hacim ve ağırlık açısından avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte yangın güvenliği açısından erişilebilirlik ve müdahale noktaları önemli hâle gelir. Özellikle batarya paketinin dış muhafazası ile hücreler arasındaki yapı, itfaiye personelinin soğutma ve müdahale imkânını sınırlayabilir. Bu doğrultuda, batarya sistemlerinde yüksek entegrasyon düzeyi ile yangına müdahale edilebilirlik arasında tasarım aşamasında optimum bir denge sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, batarya paketlerinin araç şasisi altında konumlandırılması, yangınla mücadele sırasında müdahale erişimini kısıtlayan temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Batarya paketinin dış yüzeyine fabrikasyon olarak entegre edilmiş, itfaiye ekiplerinin doğrudan bağlantı sağlayabileceği standart bir su giriş rekoru tasarıma dâhil edilmesi önerilmektedir. Bu bağlantı üzerinden sağlanacak kontrollü su akışının, batarya muhafazası ile araç şasisi arasındaki bölgeye yönlendirilerek batarya paketinin etkin biçimde soğutulmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir. Böylece hücreler arasında termal yayılımın sınırlandırılması, yangının kontrol altına alınma süresinin kısaltılması ve yeniden tutuşma riskinin azaltılması amaçlanmaktadır.

10. SÖNDÜRME YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lityum-iyon batarya yangınlarında temel amaç yalnızca alevi söndürmek değil, batarya sıcaklığını düşürmek ve termal yayılımı önlemektir. Yüksek ısı kapasitesi ve kolay erişilebilirliği nedeniyle su, bu yangınlarda etkili bir soğutma aracıdır. Müdahale süresinin azaltılması ve yangının kontrol altına alınma sürecinin hızlandırılması amacıyla, batarya paketine entegre edilebilen, erken müdahaleyi mümkün kılan bir söndürme ve soğutma sisteminin geliştirilmesi önerilmektedir. Fosil yakıtlı araçlarda zorunlu olan KKT yangın tüpü elektrikli araçlarda zorunluluktan ziyade araca aktif bir söndürme sistemi olarak hazır bulunması ilk müdahale açısından önemlidir. Termal kaçak başlangıcı algılandığında yalnızca etkilenen bölgeye katkılı su bazlı söndürücüler veya KKT uygulanarak ekip müdahalesine kadar kontrol altına alınması hedeflenebilir. İlk müdahalenin gecikmeksizin gerçekleştirilmesi sayesinde termal yayılımın sınırlandırılması, yangının kontrol altına alınma süresinin kısaltılması ve buna bağlı olarak can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

11. SU SİSİ VE PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ

Su sisi, suyun küçük damlacıklar hâlinde uygulanmasını esas alan bir yöntemdir. Yüksek yüzey alanı, hızlı ısı transferi ve su tüketiminin azaltılabilme potansiyeli teorik avantajlar arasındadır. Batarya yangınlarında sistemin etkinliği; damlacık boyutu, uygulama konumu, batarya muhafazası ve soğutulması gereken bölgenin erişilebilirliği gibi parametrelere bağlıdır [2]. Bu nedenle su sisi sistemleri doğrudan tek başına kesin çözüm olarak değil, tasarım ve senaryo bazlı değerlendirilmesi gereken aktif koruma yöntemi olarak ele alınmalıdır. Kapalı alanlarda kabin olarak izolasyon edilmiş şarj alanında yangın oluşması durumunda su sisi ile gaz ve ısı düşürme açısından önemlidir [2].

12. KURU KİMYASAL, KÖPÜK VE GAZLI SÖNDÜRME SİSTEMLERİ

Geleneksel yangın söndürme ajanları görünür alevin kontrolünde etkili olabilir. Ancak batarya yangınlarında temel sorun, alevin altında devam eden termal reaksiyonlardır. Gazlı söndürme sistemleri ve kuru kimyasal ajanlar alevi geçici olarak bastırabilse de bataryanın iç sıcaklığını yeterli seviyede düşürmediği durumlarda termal kaçağın devam etmesi mümkündür. Bu nedenle söndürme sisteminin değerlendirilmesinde yalnızca "Alev söndü mü?" sorusunun değil, "Batarya sıcaklığı kontrol altına alındı mı?" ve "Termal yayılım devam ediyor mu?" sorularının da cevaplanması gerekir.

13. TERMAL GÖRÜNTÜLEME VE YENİDEN TUTUŞMA KONTROLÜ

Elektrikli araç batarya yangınlarında olayın sonlandırılması, görünür alevlerin ortadan kalkmasıyla tamamlanmamalıdır. Batarya paketinin farklı bölgelerinde sıcaklık takibi yapılması, olayın devam edip etmediğinin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Termal kameralar sıcak nokta tespiti, sıcaklık değişiminin izlenmesi, yeniden ısınmanın belirlenmesi ve müdahale sonrası kontrol gibi amaçlarla kullanılabilir. Elektrikli araçların olay sonrası güvenli şekilde yönetilebilmesi için araç ve model bazlı acil durum bilgilerinin kullanılması, müdahalenin güvenliğini artırabilecek önemli bir uygulamadır.

14. KARAR MATRİSİ İLE SÖNDÜRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada söndürme yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla nitel bir karar matrisi oluşturulmuştur [2]. Değerlendirmede soğutma kapasitesi, termal kaçağı sınırlandırma potansiyeli, batarya içine erişim, yeniden tutuşma riskinin azaltılması ve operasyonel uygulanabilirlik gibi kriterler dikkate alınmıştır. Değerlendirme etkisi olmayan (-), etkisi olan 1–5 arasında yapılmıştır: 1 düşük, 5 yüksek. Puanlar deneysel ölçüm sonucu değil, literatürdeki bulguların karşılaştırılması amacıyla oluşturulmuş nitel değerlendirme puanlarıdır.

KARAR MATRİSİ

Yöntem	Soğutma	Termal yayılımı sınırlandırma	Erişim	Yeniden tutuşmayı azaltma	Uygulanabilirlik
Su ile soğutma	5	3	5	3	4
Su sisi / püskürtme	4	2	4	3	3
Köpük (FOAM)	3	3	3	3	3
Kuru kimyasal	2	2	3	2	4
Gazlı söndürme	1	2	2	2	3
Pasif termal bariyer	-	4	5	4	5
Erken algılama + aktif soğutma	5	4	4	3	5

Su ile soğutma: 5 3 5 3 4

Su sisi / püskürtme: 4 2 4 3 3

Köpük (FOAM): 3 3 3 3 3

Kuru kimyasal: 2 2 3 2 4

Gazlı söndürme: 1 2 2 2 3

Pasif termal bariyer: (-) 4 5 4 3

Erken algılama + aktif soğutma: 5 4 4 3 5

Not: Karar matrisi puanları deneysel ölçüm değil, literatürdeki genel bulguların karşılaştırılması amacıyla oluşturulmuş nitel değerlendirmelerdir.

15. ÖNERİLEN ÇOK KATMANLI YANGIN GÜVENLİĞİ MODELİ

Çalışmanın temel önerisi, elektrikli araç batarya yangınlarına karşı altı katmanlı bir güvenlik modeli oluşturulmasıdır.

I. Batarya tasarımı: Termal yayılımı sınırlandıran tasarım, termal bariyerler, hücreler arası güvenlik mesafesi, kontrollü gaz tahliyesi ve güvenli muhafaza tasarımı.

II. Batarya yönetim sistemi: Sıcaklık, gerilim, akım ve hücreler arası dengesizlik parametrelerinin sürekli izlenmesi.

III. Erken algılama: Sıcaklık artışı, duman, gaz ve elektriksel anormalliklerin tespit edilmesi.

IV. Şarj alanı güvenliği: Uygun elektriksel koruma, yangın algılama, alarm, kontrollü havalandırma, acil enerji kesme ve uygun yangın söndürme altyapısının birlikte ele alınması.

V. Aktif yangın müdahalesi: Yangın meydana geldiğinde alevi bastırmanın yanında soğutma, termal yayılımı engelleme ve çevreye yayılımı sınırlandırma.

VI. Olay sonrası yönetim: Sıcaklık takibi, yeniden tutuşma riskinin değerlendirilmesi, hasarlı aracın güvenli alana alınması, uygun depolama ve olay kayıtlarının tutulması.

16. İTFAİYE MÜDAHALESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Elektrikli araç yangınlarında itfaiye personelinin karşılaştığı temel sorunlardan biri, yangının araç içerisinde ve çoğunlukla batarya muhafazası içerisinde bulunmasıdır. Geleneksel araç yangınlarında motor bölmesi veya araç kabini gibi bölgelere doğrudan müdahale edilebilirken, elektrikli araçlarda batarya paketi aracın alt kısmında ve yüksek dayanımlı bir muhafaza içerisinde bulunabilir. Bu durum; aracın marka ve modeli, bataryanın konumu, batarya kimyası, yüksek gerilim sisteminin yapısı, acil durum kesme noktaları, batarya paketinin tasarımı ve üretici acil müdahale kılavuzu gibi bilgilerin önemini artırmaktadır. Bu nedenle itfaiye teşkilatlarında elektrikli araçlara yönelik araç tanıma ve müdahale bilgi sistemlerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Günümüzde araçların bataryaları altta olması yetersiz bir aralıkta söndürme imkânı, yukarı kaldırmak suretiyle alttan müdahale, söndürme havuzları ile araç komple suya bırakılması gibi yöntemler sadece yangında sirayeti engelleme üzerinedir. Fakat özellikle kapalı alanlarda otomatik sistemlerin devreye girdiğinde müdahale edilene kadar süre kazanılması ve müdahale esnasında su giriş rekoru eklenen araçların tek bir girişten verilen su ile herhangi bir işlem olmadan batarya altta da olsa söndürme ve soğutma daha verimli yapılabilir.

17. ŞARJ İSTASYONLARI İÇİN ÖNERİLEN GÜVENLİK MODELİ

Şarj alanları yalnızca elektrik altyapısı olarak değil, yangın güvenliği açısından özel risk alanları olarak değerlendirilmelidir. Önerilen sistem şu şekilde modellenebilir: Şarj işlemi → sıcaklık/gaz/duman/elektriksel parametrelerin izlenmesi → anormallik algılama → alarm → şarjın otomatik olarak durdurulması → gerekli elektriksel izolasyon → havalandırma senaryosunun devreye alınması → aktif yangın koruma sisteminin devreye alınması → itfaiye ekiplerine bildirim → müdahale → termal görüntüleme ile olay sonrası izleme [3]. Bu yaklaşımda temel amaç, yangının tamamen gelişmesini beklemek yerine olay zincirinin mümkün olduğunca erken aşamasında müdahale etmektir.

18. ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYALARINDA YANGININ ÖNLENMESİ

Yangın güvenliğinde en etkili yöntem yangın meydana geldikten sonra söndürmek değil, yangının oluşmasını engellemektir. Bu kapsamda üretim, tasarım, kullanım ve altyapı aşamalarında ele alınmalıdır [8]. Üretim ve tasarım: Hücre kalite kontrolü, termal yönetim, güvenli batarya mimarisi, termal bariyerler, uygun BMS, gaz tahliye tasarımı ve mekanik koruma [7]. Kullanım: Hasarlı bataryaların kullanılmaması, üretici tarafından belirlenen şarj sistemlerinin kullanılması, hasarlı araçların uygun olmayan kapalı alanlarda bekletilmemesi ve batarya arızalarının erken tespit edilmesi. Altyapı: Şarj alanlarının uygun konumlandırılması, yangın algılama, uygun havalandırma, acil enerji kesme, yangın söndürme, tahliye düzenlemeleri ve itfaiye erişiminin korunması.

19. BATARYA TASARIMINDA MÜDAHALE ERİŞİM NOKTALARI

Mevcut batarya paketlerinin önemli bir bölümü güvenlik ve mekanik dayanım amacıyla kapalı bir muhafaza içerisinde tasarlanmaktadır. Ancak yangın meydana geldiğinde bu yapı, soğutma ve müdahale açısından dezavantaj oluşturabilir. Bu nedenle gelecekteki batarya tasarımlarında itfaiye müdahalesine uygun erişim noktaları, termal olayın yerinin belirlenmesini sağlayacak sensörler, kontrollü soğutma erişimi, güvenli gaz tahliye yolları ve modüler izolasyon noktaları gibi özelliklerin tasarım aşamasından itibaren değerlendirilmesi önerilmektedir. Temel yaklaşım şudur: Batarya sadece normal kullanım koşullarına göre değil, yangın anında müdahale edilebilirlik kriterine göre de tasarlanmalıdır.

20. TARTIŞMA

Literatür incelemesi, elektrikli araç batarya yangınlarının klasik araç yangınlarından farklı bir risk profiline sahip olduğunu göstermektedir. Birinci önemli farklılık, yangının yalnızca yüzeysel alevlerden oluşmamasıdır. Termal kaçak devam ettiği sürece batarya içerisinde yeni hücrelerin etkilenmesi mümkündür. İkinci önemli farklılık, yangının gaz üretimiyle birlikte değerlendirilmesi gerekliliğidir. Özellikle kapalı alanlarda toksik ve yanıcı gazların birikmesi, yangının kendisinden bağımsız bir ikincil risk meydana getirebilir. Üçüncü önemli konu, söndürme yöntemlerinin değerlendirilmesinde soğutma kapasitesinin ön plana çıkmasıdır. Su, lityum-iyon batarya yangınlarında önemli bir soğutma aracı olarak değerlendirilmektedir. Dördüncü konu ise batarya mimarisidir. Modüler yapı, uygun termal bariyer ve izolasyon tasarımıyla yangının bölgesel olarak sınırlandırılmasını kolaylaştırabilir. Ancak modüler yapının tek başına güvenlik garantisi olmadığı; hücreler arası ve modüller arası termal yayılımın ayrıca kontrol edilmesi gerektiği görülmektedir. Bu nedenle tek bir söndürme teknolojisinin elektrikli araç yangınlarının tamamı için yeterli olmayacağı; önleme, erken algılama, enerji izolasyonu, havalandırma, soğutma, yayılımın sınırlandırılması ve olay sonrası izlemenin birlikte uygulanması gerektiği değerlendirilmektedir.

21. SONUÇ

Elektrikli araçların yaygınlaşması, ulaşım sektöründe önemli bir dönüşüm yaratırken, lityum-iyon batarya sistemlerinin yangın güvenliği açısından yeni risklerin değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada elektrikli araç batarya yangınlarının temel teknik mekanizmaları, termal kaçak süreci, yangınların yayılım özellikleri, söndürme yöntemleri, şarj alanlarındaki riskler ve itfaiye müdahalesi açısından kritik hususlar değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen temel sonuçlar; termal kaçağın kritik bir risk olduğu, yalnızca alevin söndürülmesinin yeterli olmadığı, suyun soğutma kapasitesi nedeniyle önemli bir müdahale aracı olduğu, gazlı ve kuru kimyasal yöntemlerin tek başına yeterli olmayabileceği, kapalı alanlarda gaz yönetiminin kritik olduğu, modüler mimarinin uygun tasarım ile yangın kontrolünü kolaylaştırabileceği ve şarj alanlarında erken algılama ile otomatik müdahalenin önemli olduğu yönündedir. Sonuç olarak elektrikli araç batarya yangınlarına karşı sürdürülebilir yangın güvenliği; yalnızca yangın çıktıktan sonra kullanılacak söndürme ekipmanlarının geliştirilmesiyle sağlanamaz. Güvenliğin, batarya hücresinin tasarımından baş-

layarak araç, BMS, şarj altyapısı, bina, algılama, havalandırma, aktif yangın koruma, itfaiye müdahalesi ve olay sonrası yönetim aşamalarının tamamını kapsayan çok katmanlı bir sistem olarak ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda çalışmada önerilen model: Önleme → Erken Algılama → İzolasyon → Havalandırma → Aktif Soğutma/Söndürme → Termal İzleme → Güvenli Olay Sonrası Yönetim şeklinde özetlenebilir. Bu modelin temel amacı, yangın meydana geldikten sonra müdahale kapasitesini artırmanın yanı sıra yangının gelişmesini mümkün olduğunca erken aşamada engellemek ve can, mal ve çevre üzerindeki etkileri en aza indirmektir.

22. GELECEK ÇALIŞMALAR

Çalışmanın literatür temelli ve nitel karar matrisi yaklaşımına dayandığı dikkate alındığında, gelecekte yapılacak çalışmaların deneysel verilerle desteklenmesi önemlidir. Öncelikli araştırma alanları; farklı batarya kimyalarının karşılaştırılması, modüler ve entegre batarya mimarilerinin yangın davranışlarının incelenmesi, farklı soğutma yöntemlerinin karşılaştırılması, kapalı otoparklarda gaz dağılımının modellenmesi, şarj istasyonlarında erken algılama sistemlerinin deneysel değerlendirilmesi, yeniden tutuşma davranışlarının incelenmesi, itfaiye müdahale erişim noktalarının standartlaştırılması ve farklı havalandırma senaryolarının değerlendirilmesidir. Ayrıca batarya üreticileri, araç üreticileri, şarj ağı işletmecileri, bina tasarımcıları ve itfaiye teşkilatları arasında ortak bir elektrikli araç yangın güvenliği protokolünün geliştirilmesi, teknolojinin yaygınlaşmasına paralel olarak önem kazanacaktır.

KAYNAKLAR

1. NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA), ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES: BATTERY, CHARGING & SAFETY, U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION.
2. SHI, P., ZHU, H., DONG, X., HAI, B. (2025). RESEARCH PROGRESS ON THERMAL RUNAWAY WARNING METHODS AND FIRE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES FOR LITHIUM-ION BATTERIES. WORLD ELECTRIC VEHICLE JOURNAL, 16(2), 81.
3. THERMAL RUNAWAY AND FIRE OF ELECTRIC VEHICLE LITHIUM-ION BATTERY AND CONTAMINATION OF INFRASTRUCTURE FACILITY. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, 165, 112474, 2022.
4. PERFORMANCE OF INTERSTITIAL THERMAL BARRIER MATERIALS ON CONTAINING SIDEWALL RUPTURE AND THERMAL RUNAWAY PROPAGATION IN A LITHIUM-ION BATTERY MODULE. JOURNAL OF ENERGY STORAGE, 95, 112491, 2024.
5. A COMPARATIVE STUDY OF THERMAL RUNAWAY PROPAGATION IN OPEN AND CONFINED BATTERY SYSTEMS. APPLIED THERMAL ENGINEERING, 284, 128890, 2026.
6. TOXIC GAS EMISSION IN ELECTRIC VEHICLES: WHAT A BATTERY FIRE MEANS FOR OCCUPANT SAFETY. FIRE SAFETY JOURNAL, 162, 104717, 2026.
7. THERMAL RUNAWAY GAS RISKS OF POWER BATTERIES IN UNDERGROUND GARAGES: A REVIEW FROM GENERATION MECHANISMS TO PREVENTION STRATEGIES. JOURNAL OF ENERGY STORAGE, 165, 122338, 2026.
8. IEC (2023). IEC 61851-23: ELECTRIC VEHICLE CONDUCTIVE CHARGING SYSTEM – PART 23: DC ELECTRIC VEHICLE SUPPLY EQUIPMENT. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Murat KULA: 1999 yılında eylül ayında doğmuştur. 2020 yılında Deniz Harp Okulu Komutanlığı 2. Sınıf Yangın Savunma Merkezi'nde itfaiye çavuşu olarak meslek hayatına başlayan Murat KULA, yangın güvenliği ve itfaiyecilik alanında edindiği mesleki tecrübelerini geliştirmek amacıyla 2024 yılında Torku Fabrikaları bünyesinde itfaiye eri olarak görev yapmaya başlamıştır. Mesleki bilgi ve deneyimlerini ilerleterek 2026 yılında amirlik görevine terfi etmiştir. Halen Necmettin Erbakan Üniversitesi Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı 2. sınıf öğrencisi olan Murat KULA mesleki gelişimini akademik çalışmalarıyla desteklemektedir. Özellikle yangınla mücadele, yangın söndürme sistemleri, yeni nesil yangın teknolojileri ve gelişen söndürme yöntemleri üzerine ilgi ve çalışmalarını sürdürmektedir.

Celil Ata SEVİNDİ: 2007 yılında nisan ayında doğmuştur. Necmettin Erbakan Üniversitesi Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı 2. sınıf öğrencisidir. Bilgisayar, yabancı dil ve spor alanında mesleğine katkı sağlamak için geliştirmiştir. Akademik ilgi ve çalışma alanı kapsamında lityum-iyon batarya yangınları, söndürme yöntemleri ve yangın güvenliği üzerine çalışmalar yürütmektedir. Çevrede meydana gelen batarya yangınlarını inceleyerek mevcut müdahale yöntemlerini değerlendirmekte; gözlem ve saha deneyimlerinden elde edilen veriler doğrultusunda yangınların önlenmesi ve daha etkin şekilde söndürülmesine yönelik çözüm önerileri geliştirmeye odaklanmaktadır.

Egehan Salim GÜNGÖR: 2009 yılı Kasım ayında doğmuştur. Konya Yöntem Anadolu Lisesi 10. sınıf öğrencisidir. Küresel ölçekte çevresel ve toplumsal sorunlara ilgi duymakta, bu alanlarda araştırmalar yürütmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamaları ve bilgisayar teknolojileriyle ilgilenmekte olup, bu alanlarda kendini geliştirmeye yönelik çalışmalarını sürdürmektedir.

LİTYUM İYON BATARYALI ARAÇ VE EKİPMANLARDA YANGIN KORUNUM KONSEPTİNDE DIN SPEC 91489 VE ISO 3941:2026 (L SINIFI) STANDARTLARININ GETİRDİKLERİ

Gökhan AKTAŞ
Halil İbrahim POLAT

ÖZET

Elektrikli araçların ve lityum iyon batarya içeren ekipmanların kullanımının hızla artması, yangın güvenliği açısından yeni riskleri de beraberinde getirmiştir. Özellikle termal kaçak (thermal runaway) sonucu oluşan yüksek sıcaklık, toksik gaz çıkışı ve yeniden alevlenme riski, klasik yangın korunum yaklaşımlarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, lityum iyon batarya yangınlarına yönelik geliştirilen yeni yaklaşımlar incelenmiş ve özellikle DIN SPEC 91489 standardı ile ISO 3941:2026 kapsamında tanımlanan L sınıfı yangın konsepti değerlendirilmiştir. DIN SPEC 91489 standardının elektrikli araç yangın battaniyeleri için getirdiği performans kriterleri (termal dayanım, gaz geçirgenliği, mekanik dayanım vb.) detaylı olarak analiz edilmiştir. Bunun yanında, ISO 3941:2026 ile birlikte gündeme gelen L sınıfı yangın tanımı ve bu sınıfa yönelik söndürme ve kontrol stratejileri ele alınmıştır.

Çalışmada, mevcut uygulamalar ile yeni standartların karşılaştırılması yapılmış, özellikle yangının sınırlandırılması (fire containment) yaklaşımının önemi vurgulanmıştır. Sonuç olarak, lityum iyon batarya yangınlarında geleneksel söndürme yöntemlerinden ziyade, kontrol, izolasyon ve risk yönetimi odaklı yeni bir korunum konseptinin gerekliliği ortaya konmuştur.

Anahtar sözcükler: Lityum iyon batarya, elektrikli araç yangını, DIN SPEC 91489, ISO 3941, L sınıfı yangın, termal kaçak, yangın battaniyesi

WHAT DIN SPEC 91489 AND ISO 3941:2026 (L-CLASS) STANDARDS INTRODUCE IN THE FIRE PROTECTION CONCEPT FOR LITHIUM-ION BATTERY VEHICLES AND EQUIPMENT

ABSTRACT

The rapid increase in the use of electric vehicles and equipment containing lithium-ion batteries has introduced new risks in terms of fire safety. In particular, the high temperatures generated by thermal runaway, the release of toxic gases, and the risk of re-ignition render conventional fire protection approaches insufficient.

Within the scope of this study, newly developed approaches for lithium-ion battery fires are examined, with a particular focus on the DIN SPEC 91489 standard and the L-class fire concept defined under ISO 3941:2026. The performance criteria introduced by DIN SPEC 91489 for electric vehicle fire blankets—

such as thermal resistance, gas permeability, and mechanical strength—are analyzed in detail. In addition, the L-class fire definition introduced by ISO 3941:2026, along with the corresponding extinguishing and control strategies, is discussed.

In this study, current practices are compared with the newly introduced standards, emphasizing the importance of the fire containment approach. As a result, it is concluded that, in lithium-ion battery fires, a new protection concept focused on control, isolation, and risk management is required, rather than relying solely on conventional extinguishing methods.

Keywords: Lithium-ion battery, electric vehicle fire, DIN SPEC 91489, ISO 3941, L-class, fire blanket

1. GİRİŞ

Elektrikli araçların ve lityum iyon batarya içeren ekipmanların kullanımının son yıllarda hızla artması, yangın güvenliği açısından yeni risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Elektrikli araçların yanı sıra enerji depolama sistemleri, forkliftler, otonom mobil ekipmanlar ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan lityum iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle yangın güvenliği açısından özel olarak değerlendirilmesi gereken sistemlerdir. Lityum iyon bataryalarda meydana gelen yangınlar, geleneksel yangınlardan farklı olarak yüksek sıcaklık, yanıcı ve toksik gaz oluşumu, hücreler arası yangın yayılımı ve yeniden alevlenme gibi riskler içerebilmektedir.

Lityum iyon batarya yangınlarının gelişiminde önemli bir aşama olan termal kaçak (thermal runaway), hücre içerisinde kontrolsüz bir ısı üretiminin meydana gelmesiyle başlayan ve sıcaklığın hızla yükselmesine neden olan ekzotermik bir süreçtir. Hücre içerisinde başlayan bu süreç, uygun koşulların oluşması halinde komşu hücrelere yayılarak batarya paketinin tamamını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, yangına yapılan ilk müdahale ile alevlerin kontrol altına alınması, batarya içerisindeki termal olayların tamamen sona erdiği anlamına gelmemekte ve yeniden alevlenme riski yangın sonrası süreçte de devam edebilmektedir. Özellikle kapalı otoparklar, araç depolama alanları, bakım tesisleri ve şarj istasyonları gibi alanlarda bu durum, yangının yalnızca başlangıç yapan araçla sınırlı kalmayarak çevrede bulunan diğer araç ve ekipmanlara yayılması açısından önemli bir risk oluşturmaktadır.

Elektrikli araç yangınlarında yangının kontrol altına alınması ve bataryanın soğutulması amacıyla su ve su sisi gibi farklı söndürme yöntemleri kullanılabilmektedir. Ancak lityum iyon batarya yangınlarında yalnızca söndürme işleminin gerçekleştirilmesi, yangının çevreye yayılmasının ve yeniden alevlenme riskinin tamamen ortadan kaldırılmasını garanti etmemektedir. Bu nedenle yangın güvenliği açısından, yangının söndürülmesinin yanı sıra yangının belirli bir alan içerisinde sınırlandırılması, çevrede bulunan ekipmanların korunması ve olay sonrasında yeniden alevlenme riskinin kontrol edilmesi gibi hususların da birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunumuna yönelik yeni yaklaşımlar ele alınmaktadır. Özellikle elektrikli araç yangınlarında kullanılan yangın battaniyelerinin performans kriterlerini ele alan DIN SPEC 91489 standardı ile yangın sınıflandırmasına ilişkin yeni yaklaşım kapsamında L sınıfı yangın konseptini tanımlayan ISO 3941:2026 standardı incelenmektedir.[1-2] DIN SPEC 91489 kapsamında yangın battaniyelerinin termal dayanım, gaz geçirgenliği ve mekanik dayanım gibi performans özellikleri değerlendirilmekte; ISO 3941:2026 kapsamında ise L sınıfı yangın yaklaşımı ve bu yangınlara yönelik kont-

rol ve söndürme stratejileri ele alınmaktadır. Çalışmada ayrıca, mevcut yangın korunum uygulamaları ile söz konusu yeni yaklaşımlar karşılaştırılarak, lityum iyon batarya yangınlarında yangının sınırlandırılması (fire containment), izolasyon ve risk yönetiminin yangın korunum konsepti içerisindeki yeri değerlendirilmektedir.[3]

2. LİTYUM İYON BATARYALI ARAÇ VE EKİPMANLARDA YANGIN RİSKİ

Lityum iyon bataryaların elektrikli araçlarda ve farklı endüstriyel ekipmanlarda yaygın olarak kullanılması, bu sistemlerin yangın güvenliği açısından özel olarak değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bataryalarda meydana gelebilecek mekanik hasar, elektriksel arızalar, aşırı şarj, yüksek sıcaklık veya hücre içerisindeki diğer bozulmalar, bataryanın normal çalışma koşullarından çıkmasına ve kontrolsüz ısı üretiminin başlamasına neden olabilmektedir. Bu süreç, özellikle termal kaçak (thermal runaway) olarak adlandırılan ve hücre içerisindeki sıcaklık artışının kendi kendini hızlandırdığı durumlarda, kısa süre içerisinde yüksek sıcaklıklara ve yangına dönüşebilmektedir.

Lityum iyon batarya yangınlarının önemli özelliklerinden biri, yangının tek bir hücre ile sınırlı kalmayarak komşu hücrelere ve modüllere yayılabilmesidir. Bir hücrede başlayan termal kaçak sonucunda açığa çıkan ısı, çevresindeki hücrelerin kritik sıcaklıklara ulaşmasına neden olabilmekte ve bunun sonucunda hücreler arasında termal yayılım meydana gelebilmektedir. Batarya paketinin yapısı, hücrelerin yerleşimi, hücreler arasındaki mesafe ve termal yönetim sistemi gibi parametreler bu yayılımın gelişimini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, batarya kaynaklı yangınlarda yalnızca ilk hasar gören hücrenin veya görülebilir alevlerin kontrol altına alınması yeterli bir değerlendirme olarak kabul edilmemelidir.[4-5]

2.1. Lityum İyon Batarya Yangınlarının Yangın Davranışı

Lityum iyon batarya yangınlarında termal kaçak sırasında yüksek miktarda ısı açığa çıkabilmekte ve hücre içerisinde oluşan basınç nedeniyle çeşitli gazların dışarı atılması gerçekleşebilmektedir. Bu gazların bir bölümü yanıcı özellik gösterebildiği gibi, batarya kimyasına ve yangının gelişim koşullarına bağlı olarak toksik bileşenler de içerebilmektedir. Özellikle kapalı alanlarda meydana gelen yangınlarda, açığa çıkan gazların yangın güvenliği açısından oluşturduğu riskin yalnızca alev ve sıcaklık etkisiyle sınırlı olmadığı dikkate alınmalıdır.

Batarya içerisindeki termal olayların devam etmesi, dışarıdan gerçekleştirilen müdahale sonucunda görünür alevlerin ortadan kaldırılmasından sonra dahi yeniden alevlenme riskinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu durum, elektrikli araç yangınlarında yangın olayının yalnızca aktif yanma süreci üzerinden değerlendirilmemesini ve yangın sonrası sürecin de yangın korunum konseptinin bir parçası olarak ele alınmasını gerektirmektedir.

Elektrikli araçlarda batarya paketinin genellikle aracın alt bölümünde ve koruyucu bir muhafaza içerisinde bulunması da müdahale açısından farklı bir durum oluşturmaktadır. Yangın sırasında bataryanın bütün hücrelerine doğrudan erişim sağlanamaması, dışarıdan uygulanan soğutma işleminin etkinliğini etkileyebilmekte ve yangın sonrasında sıcaklık takibinin önemini artırmaktadır. Bu nedenle elektrikli araç yangınlarında söndürme işleminin yanında soğutma, yangının yayılmasının sınırlandırılması ve yeniden alevlenme riskinin kontrolü birlikte değerlendirilmelidir.[6-8]

2.2. Yangının Sınırlandırılması Yaklaşımı

Lityum iyon batarya yangınlarının yukarıda belirtilen özellikleri, yangın korunumunda yalnızca söndürme odaklı yaklaşımın yanında yangının sınırlandırılması (fire containment) yaklaşımının da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Yangının sınırlandırılmasında temel amaç, meydana gelen yangının çevrede bulunan araç, ekipman ve yapı elemanlarına etkisini azaltmak ve yangının belirli bir alan içerisinde kontrol altında tutulmasına yardımcı olmaktır.

Özellikle elektrikli araçların kapalı otoparklar, araç depolama alanları, servis tesisleri ve benzeri ortamlarda bulunması durumunda, bir araçta meydana gelen yangının çevresindeki araçlara yayılması önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle yangın korunum konseptinin yalnızca yangının başlangıç yaptığı araca yönelik değil, yangının çevresel etkilerini ve yayılım ihtimalini de kapsayacak şekilde oluşturulması gerekmektedir.

Bu yaklaşımda yangın battaniyeleri, yangını doğrudan söndüren bir sistem olarak değil, yangının ve yangının etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik bir korunum aracı olarak değerlendirilmektedir. Battaniyenin yapısı ve performans özellikleri; yüksek sıcaklıklara dayanım, yangının çevreye yayılmasının sınırlandırılması, gazların davranışı ve mekanik bütünlüğün korunması gibi farklı parametreler açısından önem kazanmaktadır.

Bu noktada, elektrikli araç yangınlarında kullanılan yangın sınırlandırma battaniyelerinin performans özelliklerini tanımlayan DIN SPEC 91489, yangın korunum konseptine yeni bir yaklaşım getirmektedir. Standardın ortaya koyduğu performans kriterleri, yangın battaniyesinin yalnızca yüksek sıcaklığa dayanabilen bir örtü olarak değil, yangın olayının sınırlandırılmasına yönelik belirli performans şartlarını karşılayan bir korunum ekipmanı olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Diğer taraftan, lityum iyon batarya yangınlarının yangın sınıflandırması açısından değerlendirilmesi, yangına uygulanacak korunum yaklaşımının belirlenmesinde önem taşımaktadır. ISO 3941:2026 ile tanımlanan L sınıfı yangın konsepti, lityum iyon hücre ve bataryaların karıştığı yangınların sınıflandırılması açısından yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Böylece yangının yalnızca klasik yangın sınıfları üzerinden değerlendirilmesi yerine, lityum iyon bataryaların kendine özgü yangın davranışlarının dikkate alındığı bir sınıflandırma yaklaşımı gündeme gelmektedir.

Sonuç olarak, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunumunun; yangının algılanması, müdahale edilmesi, soğutulması, yayılımının sınırlandırılması ve yeniden alevlenme riskinin yönetilmesi aşamalarını birlikte içeren bütünleşik bir yaklaşım olarak ele alınması gerekmektedir. Bu yaklaşım içerisinde DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026, biri yangının sınırlandırılmasına yönelik performans kriterleri, diğeri ise yangın sınıflandırmasına yönelik yaklaşım olmak üzere farklı açılardan önem taşımaktadır.

3. DIN SPEC 91489'UN YANGIN KORUNUM KONSEPTİNE GETİRDİKLERİ

DIN SPEC 91489:2024-11, elektrikli araçlarda kullanılmak üzere tasarlanan yangın sınırlandırma battaniyelerine (fire limitation blankets) ilişkin gereklilikleri tanımlamaktadır. Standardın temel yaklaşımında yangın sınırlandırma battaniyeleri aktif söndürme ajanı olarak değerlendirilmemekte, yangının gelişiminin ve etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik bir korunum aracı olarak ele alınmaktadır. Standarda göre bu battaniye-

ler elektrikli araçlar üzerinde kullanılmak üzere tasarlanmış olup, sökülmüş ve açılmış bir çekiş bataryasına doğrudan uygulanması amacıyla kullanılmamaktadır.

Bu yaklaşım, elektrikli araç yangınlarında yangın korunumunun yalnızca yangının söndürülmesi üzerinden değerlendirilmemesi açısından önem taşımaktadır. Yangının çevrede bulunan araç ve ekipmanlara yayılmasının sınırlandırılması, yangının etkilerinin kontrol altında tutulması ve müdahale sürecinin desteklenmesi de korunum konseptinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir.[1]

3.1. Yangın Sınırlandırma Battaniyesi Kavramı

DIN SPEC 91489'da tanımlanan yangın sınırlandırma battaniyesinin temel amacı, elektrikli araçta meydana gelen yangının gelişimini ve çevresel etkilerini sınırlandırmaktır. Bu nedenle battaniye, yangını doğrudan söndüren bir sistem olarak değil, yangınla mücadele sürecini destekleyen bir **yangın sınırlandırma ekipmanı** olarak değerlendirilmektedir.

Standardın bu yaklaşımı, elektrikli araç yangınlarında kullanılan battaniyelerin değerlendirilmesinde yalnızca malzemenin yüksek sıcaklığa dayanmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Battaniyenin kullanım amacı ve yangın sırasında görevini yerine getirebilmesi için gerekli performans özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2. Yangın Sınırlandırma Battaniyelerinde Performans Gereklilikleri

DIN SPEC 91489 kapsamında yangın sınırlandırma battaniyeleri için farklı performans ve kullanım gereklilikleri tanımlanmaktadır. Bunlar arasında termal dayanım, mekanik özellikler, kimyasal dayanım, elektrostatik özellikler, elektriksel güvenlik, işaretleme ve üretici tarafından sağlanması gereken bilgiler yer almaktadır.

Bu gerekliliklerin birlikte ele alınması, yangın battaniyesinin yalnızca yangına dayanıklı bir tekstil malzemesi olarak değil, belirli kullanım koşullarına ve performans kriterlerine sahip bir yangın korunum ekipmanı olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

3.3. Termal ve Mekanik Dayanım

Elektrikli araç yangınlarında kullanılan yangın sınırlandırma battaniyesinin yangın sırasında görevini sürdürebilmesi için termal etkiler karşısında bütünlüğünü koruması gerekmektedir. Bunun yanında battaniyenin kullanım ve taşıma sırasında maruz kalabileceği mekanik etkiler de dikkate alınmaktadır.

DIN SPEC 91489'un performans yaklaşımında termal dayanım ve mekanik stabilitenin ayrı gereklilikler olarak ele alınması, yangın sınırlandırma ekipmanının yalnızca yüksek sıcaklığa dayanıklı olmasının yeterli olmadığını ortaya koymaktadır. Battaniyenin yangın sırasında ve kullanım sürecinde bütünlüğünü koruyabilmesi, yangının sınırlandırılması işlevinin devamlılığı açısından önem taşımaktadır.

3.4. Kullanım Amacı ve Sınırlamalar

DIN SPEC 91489'un önemli özelliklerinden biri de yangın sınırlandırma battaniyelerinin kullanım amacını açık biçimde sınırlandırmasıdır. Standarda uygun olarak değerlendirilen battaniyeler elektrikli araçlarda

kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve sökülmüş ve açılmış bir çekiş bataryasına doğrudan uygulanmak üzere öngörülmemektedir. Ayrıca battaniyeler aktif söndürme ajanı olarak tanımlanmamaktadır.

Bu nedenle DIN SPEC 91489 kapsamında değerlendirilen bir yangın battaniyesinin, elektrikli araç yangınlarında kullanılan diğer söndürme ve soğutma yöntemlerinin yerine geçtiği şeklinde bir değerlendirme yapılmamalıdır. Battaniyenin yangın korunum konseptindeki işlevi, yangının sınırlandırılması yaklaşımı içerisinde değerlendirilmelidir.

3.5. Yangın Korunum Konseptine Etkisi

DIN SPEC 91489 ile ortaya konulan yaklaşımın yangın korunum konsepti açısından temel sonucu, elektrikli araç yangınlarında yangının sınırlandırılmasının ayrı bir korunum hedefi olarak ele alınmasıdır. Bu yaklaşımda yangın söndürme işleminin yanında, yangının gelişiminin ve çevresel etkilerinin sınırlandırılması da dikkate alınmaktadır.

Böylece elektrikli araç yangınlarında korunum yaklaşımı;

yangının algılanması → müdahale ve soğutma → yangının sınırlandırılması → çevresel etkilerin kontrolü şeklinde daha bütünleşik bir yapı içerisinde değerlendirilebilmektedir.

DIN SPEC 91489 bu açıdan, elektrikli araç yangınlarında kullanılan yangın sınırlandırma battaniyeleri için belirli teknik gereklilikler ortaya koyarak, fire containment yaklaşımının yangın korunum konsepti içerisindeki yerini güçlendirmektedir.

4. ISO 3941:2026 VE L SINIFI YANGIN KONSEPTİ

ISO 3941:2026, yangınların yangında yer alan yakıtın niteliğine göre sınıflandırılmasını tanımlayan uluslararası bir standarttır. Standardın 2026 yılında yayımlanan üçüncü baskısı ile yangın sınıflandırmasına L sınıfı eklenmiştir. L sınıfı, metalik lityum bulunmayan lityum iyon hücre ve bataryaların karıştığı yangınları kapsamaktadır.

L sınıfının tanımlanması, lityum iyon batarya yangınlarının mevcut yangın sınıflandırması içerisinde ayrı bir kategori olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Elektrikli araçlar, enerji depolama sistemleri ve lityum iyon batarya kullanan çeşitli ekipmanlarda meydana gelebilen bu yangınlar; termal kaçak, hücreler arasında yangın yayılımı ve yeniden alevlenme gibi özellikleri nedeniyle yangın güvenliği açısından özel olarak değerlendirilmesi gereken olaylardır. [2]

4.1. L Sınıfı Yangının Yangın Korunumuna Etkisi

ISO 3941:2026 ile L sınıfının tanımlanması, lityum iyon batarya yangınlarının yangın risk değerlendirmelerin-

de ayrı bir yangın türü olarak dikkate alınmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, ISO 3941:2026'nın temel amacı yangınları sınıflandırmak olup, belirli bir söndürme cihazının veya söndürme yönteminin performans kriterlerini tanımlamamaktadır.

Bu nedenle L sınıfının yangın korunum konseptine getirdiği temel yenilik, lityum iyon batarya yangınlarının kendine özgü özelliklerinin yangın sınıflandırması içerisinde açık şekilde tanımlanmasıdır. Bu sınıflandırma, yangın algılama, müdahale, söndürme ve özellikle yeniden alevlenme riskinin yönetilmesine yönelik stratejilerin değerlendirilmesi açısından yeni bir referans noktası oluşturmaktadır.

L sınıfının tanımlanmasıyla birlikte elektrikli araç ve lityum iyon batarya kullanan ekipmanlarda yangın güvenliği yaklaşımının, yalnızca yangının söndürülmesine değil, yangının gelişiminin, yayılımının ve yangın sonrası risklerin birlikte değerlendirilmesine dayandırılması önem kazanmaktadır.

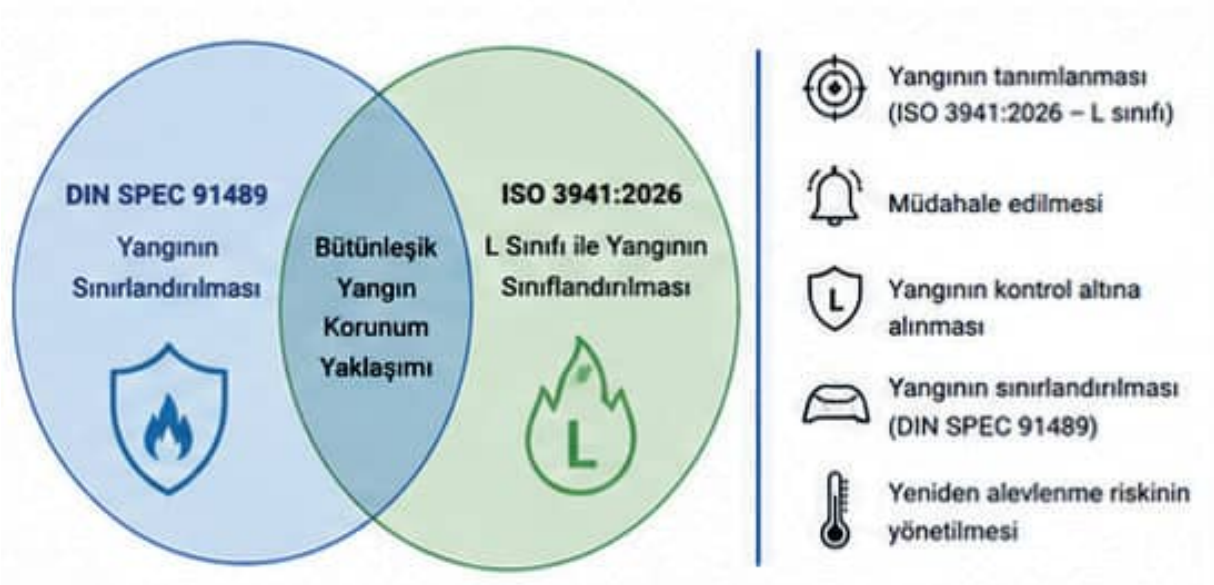


4.2. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026'nın Birlikte Değerlendirilmesi

DIN SPEC 91489 ile ISO 3941:2026, lityum iyon batarya yangınlarına farklı açılardan yaklaşmaktadır. DIN SPEC 91489, elektrikli araçlarda kullanılan yangın sınırlandırma battaniyelerine ilişkin gereklilikleri tanımlarken, ISO 3941:2026 lityum iyon hücre ve batarya yangınlarını L sınıfı altında sınıflandırmaktadır.

Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, elektrikli araç yangınlarında yangın korunumunun yalnızca söndürme işleminden ibaret olmadığı; yangının sınıflandırılması, müdahale edilmesi ve çevresel etkilerinin sınırlandırılması gibi farklı aşamaların birlikte ele alınması gerektiği görülmektedir.

Bu açıdan DIN SPEC 91489'un yangının sınırlandırılması, ISO 3941:2026'nın ise L sınıfı ile yangının tanımlanması ve sınıflandırılması yönündeki katkıları, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlar için daha bütüncül bir yangın korunum konseptinin oluşturulmasına temel oluşturmaktadır.[1-2]



5. DIN SPEC 91489 VE ISO 3941:2026'NIN YANGIN KORUNUM KONSEPTİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın güvenliğinin değerlendirilmesinde, yangının yalnızca söndürülmesi yerine yangının karakterinin ve çevresel etkilerinin birlikte ele alınması önem taşımaktadır. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026, bu yaklaşım içerisinde farklı ancak birbirini tamamlayan iki perspektif ortaya koymaktadır. DIN SPEC 91489, elektrikli araç yangınlarında kullanılan yangın sınırlandırma battaniyelerine yönelik teknik gereklilikleri tanımlarken, ISO 3941:2026 lityum iyon hücre ve batarya yangınlarını L sınıfı altında sınıflandırmaktadır.

DIN SPEC 91489 kapsamında ele alınan yangın sınırlandırma (fire limitation) yaklaşımı, yangının çevresel etkilerinin ve yayılımının sınırlandırılmasını yangın korunumunun bir parçası haline getirmektedir. Bu yaklaşımda yangın battaniyesinin görevi yangını doğrudan söndürmek değil, yangınla mücadele sürecini desteklemek ve yangının etkilerinin sınırlandırılmasına katkı sağlamaktır.

ISO 3941:2026 ile L sınıfının tanımlanması ise lityum iyon hücre ve batarya yangınlarının yangın sınıflandırması içerisinde ayrı olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Böylece lityum iyon batarya yangınlarının kendine özgü özellikleri, yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi gereken ayrı bir yangın sınıfı kapsamında ele alınmaktadır.

Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunumunun tek bir söndürme yöntemine dayandırılmasından ziyade, yangının tanımlanması, müdahale edilmesi, kontrol altında tutulması ve çevresel etkilerinin sınırlandırılması aşamalarını kapsayan bütünleşik bir yaklaşım içerisinde değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir.[9]

5.1. NFPA ve UL Yaklaşımlarındaki Güncel Gelişmeler

Lityum iyon bataryalı elektrikli araç yangınlarına yönelik uluslararası çalışmalarda, yangın battaniyelerinin yangının sınırlandırılmasındaki etkisi de araştırılmaktadır. NFPA Fire Protection Research Foundation tarafından gerçekleştirilen elektrikli araç yangını çalışmalarında yangın battaniyesi uygulaması incelenmiş; battaniyenin yangını ve açığa çıkan buharları battaniye altında sınırlandırabildiği ve araç çevresindeki maruziyetleri azaltabildiği belirtilmiştir.

Çalışmada ayrıca battaniye altında yanıcı gazların birikmesi ve battaniyenin kaldırılması sırasında oluşabilecek risklere dikkat çekilmiştir. Bu sonuçlar, yangın battaniyesinin yalnızca malzeme özellikleri açısından değil, kullanım koşulları ve operasyonel riskler açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

UL Solutions tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ise elektrikli araç bataryalarının hücre, modül ve paket seviyelerinde termal kaçak, yangın ve termal yayılım davranışları değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar, batarya yangınlarının yayılım özelliklerinin ve yangın güvenliği açısından oluşturduğu risklerin test verileri üzerinden değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, UL Solutions kapsamında elektrikli araç yangın battaniyelerine yönelik DIN SPEC 91489 ile doğrudan eşdeğer ayrı bir standart bu çalışma kapsamında tespit edilmemiştir.

Bu uluslararası çalışmalar, DIN SPEC 91489 ile ortaya konulan yangının sınırlandırılması (fire limitation) yaklaşımının yalnızca teorik bir yaklaşım olmadığını; elektrikli araç yangınlarında yangının çevresel etkilerinin azaltılması ve müdahale koşullarının iyileştirilmesi açısından uygulamalı olarak da araştırıldığını göstermektedir.[10]

5. DIN SPEC 91489 VE ISO 3941:2026'NIN YANGIN KORUNUM KONSEPTİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın güvenliğinin etkin şekilde sağlanması için yangının yalnızca söndürülmesi değil, yangının karakterinin ve çevresel etkilerinin birlikte ele alınması önem taşımaktadır. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026, bu yaklaşım içerisinde farklı ancak birbirini tamamlayan iki temel perspektif ortaya koymaktadır.

Tablo 1. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026'nın yangın korunum konseptine katkıları

Kriter	DIN SPEC 91489	ISO 3941:2026
Temel yaklaşım	Yangının sınırlandırılması	Yangının sınıflandırılması
Konu	Elektrikli araç yangın battaniyeleri	Lityum iyon hücre ve batarya yangınları
Temel katkı	Fire limitation yaklaşımının teknik gerekliliklerle ele alınması	L sınıfının yangın sınıflandırmasına dahil edilmesi
Yangın korunumundaki rolü	Yangının çevresel etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik yaklaşım	Yangının özelliklerinin sınıflandırma içerisinde tanımlanması
Kullanım konsepti	Söndürmeye tamamlayıcı yaklaşım	Yangın riskinin değerlendirilmesine yönelik sınıflandırma

Şekil 1. Elektrikli araç yangınlarında bütünleşik yangın korunum konsepti



Şekil 2. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026'nın tamamlayıcı etkisi



Şekil 3. Yangın korunumunda aşamalar ve standartların yeri



Sonuç olarak,

DIN SPEC 91489'un yangının sınırlandırılmasına yönelik teknik katkısı ile ISO 3941:2026'nın L sınıfı ile yangının tanımlanması ve sınıflandırılmasına ilişkin yaklaşımı birlikte değerlendirildiğinde, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda daha **bütünleşik, etkin ve çok boyutlu** bir yangın korunum konsepti oluşturulmaktadır.

6. LİTYUM İYON BATARYALI ARAÇ VE EKİPMANLARDA YANGIN KORUNUM KONSEPTİ

Lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunumunun etkin şekilde sağlanabilmesi için yangının yalnızca söndürülmesine odaklanan tek aşamalı bir yaklaşım yerine, farklı yangın risklerini birlikte ele alan bütünleşik bir korunum konseptine ihtiyaç bulunmaktadır. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026 standartları bu yaklaşımın iki temel boyutunu oluşturmaktadır. Bunlardan biri yangının sınırlandırılması, diğeri ise lityum iyon hücre ve batarya yangınlarının L sınıfı kapsamında tanımlanmasıdır.

Bu çerçevede yangın korunum konseptinin ilk aşamasını risk analizi ve yangının sınıflandırılması oluşturmaktadır. Kullanılan batarya teknolojisi, ekipmanın kullanım amacı, bulunduğu ortam ve çevresindeki diğer araç veya ekipmanlar dikkate alınarak yangın senaryosunun belirlenmesi gerekmektedir. ISO 3941:2026 kapsamında L sınıfı olarak tanımlanan lityum iyon hücre ve batarya yangınlarının özelliklerinin dikkate alınması, yangına yönelik müdahale ve korunum yaklaşımının belirlenmesinde temel bir değerlendirme oluşturmaktadır.

İkinci aşamada algılama ve müdahale süreçleri ele alınmaktadır. Yangının mümkün olan en erken aşamada tespit edilmesi ve uygun müdahale yönteminin belirlenmesi, yangının gelişiminin kontrol altında tutulması açısından önemlidir. Yangının gelişmesi durumunda soğutma ve söndürme uygulamaları ile birlikte yangının çevresine yayılmasının sınırlandırılması değerlendirilmelidir.[1-2]

Üçüncü aşama olan yangının sınırlandırılması, özellikle elektrikli araç yangınlarında çevrede bulunan araç ve ekipmanların korunması açısından önem taşımaktadır. DIN SPEC 91489 kapsamında ele alınan yangın sınırlandırma battaniyeleri bu aşamada tamamlayıcı bir korunum aracı olarak değerlendirilmektedir. Battaniyenin amacı yangını doğrudan söndürmek değil, yangının gelişimini ve çevresel etkilerini sınırlandırarak yangınla mücadele sürecine katkı sağlamaktır.

Son aşamada ise yeniden alevlenme riskinin yönetilmesi gerekmektedir. Lityum iyon batarya yangınlarında yangının görünür şekilde kontrol altına alınmasından sonra da risklerin devam edebilmesi nedeniyle müdahale sonrasındaki süreç yangın korunum konseptinin dışında bırakılmamalıdır. Bu kapsamda soğutma sonrasında gerekli izleme ve kontrol süreçlerinin uygulanması, yangın güvenliğinin sürekliliği açısından önem taşımaktadır.[7-8]

Tablo 2. Lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunum konsepti

Aşama	Amaç	Temel Unsurlar	İlgili Standart Perspektifi
1 **Risk Analizi ve Sınıflandırma**	Yangın riskinin tanımlanması ve yangın türünün belirlenmesi	• Batarya kimyası ve kapasitesi • Kullanım senaryoları • L sınıfı yangın karakteri	ISO 3941:2026 (L sınıfı)
2 **Algılama ve Uyarı**	Yangın başlangıcının erken aşamada tespiti	• Duman, ısı ve gaz algılama • Batarya yönetim sistemi uyarıları • Erken uyarı sistemleri	Genel yangın algılama standartları
3 **Müdahale ve Söndürme**	Yangının kontrol altına alınması ve yayılımının önlenmesi	• Uygun söndürme ajanları • Soğutma uygulamaları • Müdahale ekipmanları	L sınıfı yangın özellikleri dikkate alınarak
4 **Yangının Sınırlandırılması**	Yangının çevresel etkilerinin ve yayılımının sınırlandırılması	• Yangın sınırlandırma battaniyeleri • Bölgeleme ve izolasyon • Yayılımın engellenmesi	DIN SPEC 91489 (Fire limitation)
5 **Yeniden Alevlenme Riskinin Yönetimi**	Soğutma sonrası yeniden alevlenme riskinin azaltılması	• Uzun süreli izleme • Termal kontrol • Yeniden müdahale planı	L sınıfı yangın özellikleri dikkate alınarak

7. SONUÇLAR

Lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda meydana gelen yangınların, termal kaçak, hücreler arası yayılım ve yeniden alevlenme gibi özellikleri nedeniyle geleneksel yangın korunum yaklaşımlarından farklı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yangının yalnızca söndürülmesi değil, yangının gelişiminin ve çevresel etkilerinin kontrol altında tutulması da yangın korunum konseptinin bir parçası olarak ele alınmalıdır.

DIN SPEC 91489, elektrikli araçlarda kullanılan yangın sınırlandırma battaniyelerine yönelik gereklilikleri tanımlayarak yangının sınırlandırılması (fire limitation) yaklaşımını yangın korunum konsepti içerisinde ele almaktadır. Bu yaklaşımda yangın battaniyesi, yangını doğrudan söndüren bir sistem olarak değil, yangının gelişiminin ve çevresel etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik tamamlayıcı bir korunum aracı olarak değerlendirilmektedir.

ISO 3941:2026 ile lityum iyon hücre ve batarya yangınlarının L sınıfı kapsamında tanımlanması ise bu yangınların yangın sınıflandırması içerisinde ayrı olarak değerlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Böylece lityum iyon batarya yangınlarının özelliklerinin yangın güvenliği değerlendirmelerinde dikkate alınması için ortak bir sınıflandırma yaklaşımı sağlanmaktadır.

DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026 birlikte değerlendirildiğinde, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın korunumunun yalnızca söndürme işlemine dayalı olmaması gerektiği görülmektedir. Risk analizi ve sınıflandırma, algılama, müdahale ve soğutma, yangının sınırlandırılması ve yeniden alevlenme riskinin yönetilmesi aşamalarının birlikte ele alınması, daha bütünleşik bir yangın korunum konseptinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

NFPA Fire Protection Research Foundation tarafından gerçekleştirilen elektrikli araç yangını çalışmalarında yangın battaniyesi uygulamasının da incelenmiş olması, yangının sınırlandırılması yaklaşımının uygulamalı olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Çalışmalarda yangın battaniyesinin yangını ve açığa çıkan buharları sınırlandırabildiği ve araç çevresindeki maruziyetleri azaltabildiği belirtilirken, battaniye altında yanıcı gazların birikmesi ve uygulama sırasında oluşabilecek operasyonel risklere de dikkat çekilmektedir. Bu bulgular, yangın battaniyelerinin yalnızca malzeme performansı açısından değil, kullanım koşulları ve müdahale prosedürleri ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

UL Solutions tarafından gerçekleştirilen elektrikli araç batarya çalışmalarında ise hücre, modül ve batarya paketi seviyelerinde termal kaçak, yangın ve termal yayılım davranışları değerlendirilmektedir. Bu çalışmalar, lityum iyon batarya yangınlarında termal kaçak ve yangın yayılımının test verileri üzerinden değerlendirilmesinin yangın güvenliği açısından önemini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, UL 9540A'nın esas olarak enerji depolama sistemlerinin termal kaçak ve yangın yayılımının değerlendirilmesine yönelik bir test yöntemi olduğu ve doğrudan elektrikli araç yangın battaniyesi standardı olarak değerlendirilmemesi gerektiği dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, lityum iyon bataryalı araç ve ekipmanlarda yangın güvenliği açısından "yangının söndürülmesi" ile birlikte "yangının sınırlandırılması ve yangın sonrası risklerin yönetilmesi" yaklaşımının da dikkate alınması gerekmektedir. DIN SPEC 91489 ve ISO 3941:2026'nın ortaya koyduğu farklı yaklaşımlar ile NFPA ve UL tarafından gerçekleştirilen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, lityum iyon batarya yangınlarına yönelik korunum konseptinin sınıflandırma, müdahale, soğutma, containment ve müdahale sonrası risk yönetimini birlikte ele alması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3. L SINIFI (Li-ion batarya) YANGINLARININ TİPİK SENARYOSU

AŞAMA	GÖRSEL TEMSİL	AÇIKLAMA
1 BAŞLANGIÇ (TERMAL KAÇAK)		• Hücre içinde termal kaçak başlar. • Isı, gaz ve duman oluşur.
2 HÜCRE İÇİ YAYILIM		• Isı komşu hücrelere yayılır, • hücre içinde yangın büyür.
3 MODÜL / PAKET YAYILIMI		• Yangın modül veya paket seviyesine ulaşır, • yayılım hızlanır.
4 YANGININ GELİŞİMİ (ISI VE DUMAN ARTIŞI)		• Yüksek ısı, yoğun duman ve toksik gazlar ile yangın çevreye etki eder.
5 MÜDAHALE VE SINIRLANDIRMA		• Yangın sınırlandırma battaniyesi uygulanır, • yayılım ve çevresel etki sınırlandırılır.
6 SOĞUTMA SONRASI YENİDEN ALEVLENME RİSKİ		• Soğutma sonrası yeniden alevlenme riski devam eder, • izleme gerekir.

AÇIKLAMA

L sınıfı yangınlar, Li-ion batarya hücrelerinde başlayan termal kaçak ile ortaya çıkar ve modül/paket seviyesine kadar ilerleyerek yüksek ısı, duman ve toksik gaz oluşumuna neden olur.
Yangının etkilerinin kontrol altına alınması için müdahale ve sınırlandırma yöntemleri kritik öneme sahiptir.
Soğutma sonrası yeniden alevlenme riski bulunduğundan, izleme ve kontrol sürecinin devamı gereklidir.

İLGİLİ STANDART PERSPEKTİFİ

DIN SPEC 91489
Yangının sınırlandırılması (Fire limitation) yaklaşımını tanımlar.

ISO 3941:2026 (L SINIFI)
Li-ion batarya yangınlarının sınıflandırılması perspektifini sağlar.

8. KAYNAKLAR

[1] DIN SPEC 91489:2024-11, Requirements for fire limitation blankets for use with electric vehicles, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2024.

[2] DIN 91489:2026-02, Requirements for fire limitation blankets for use with electric vehicles, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2026.

[3] ISO 3941:2026, Classification of fires, International Organization for Standardization, Geneva, 2026.

[4] Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., He, X., Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review, Energy Storage Materials, Vol. 10, pp. 246–267, 2018.

[5] Chen, Q., Wang, X., Mi, W., Experiential study on the toxic and explosive characteristics of thermal runaway gas generated in electric-vehicle lithium-ion battery systems, Energy Storage and Saving, 2023.

[6] Ma, M., Jiang, H., Peng, G., Bi, X., Wang, S., Tao, B. et al., Research on the hazard characteristics of thermal runaway fire in electric vehicle power battery pack, Scientific Reports, Vol. 16, Article 5363, 2026.

[7] Held, M., Tuchschmid, M., Zennegg, M., Figi, R. et al., Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 165, Article 112474, 2022.

[8] Review of Flame Behavior and Its Suppression during Thermal Runaway in Lithium-Ion Batteries, Batteries, Vol. 10, No. 9, Article 307, 2024.

4. KISA ÖZGEÇMİŞ

Gökhan AKTAŞ

1966 Eskişehir doğumlu, YTÜ Elektrik Mühendisliği 1988 mezunu, Londra'da The South Bank University'de "Gerçek Zamanlı Sistemler", The Southwark College de Yangın Mühendisliği konusunda eğitimler aldı. SAU Yangın Güvenliği Konusunda yüksek lisans yaptı. Yaklaşık 40 yıldır yangın korunumu sektöründe uzman mühendis ve yönetici olarak ulusal ve uluslararası firmalarda görev aldı. NFPA, TMMOB, EMO ve TÜYAK Derneği kurucu üyesi. Özellikle algılama ve spesifik mekanların otomatik söndürme ve önleme sistemleri ile korunması konusunda bir çok uluslararası eğitime katıldı. Protek Yangın ve Güvenlik Sistemleri AŞ firması kurucu ortağıdır.

Halil İbrahim POLAT

1999'da İstanbul'da doğdu. 2015 yılında Ataşehir Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2021 yılında Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden "mühendis" unvanını; 2026 yılında ise Sakarya Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE), Yangın ve Yangın Güvenliği Yüksek Lisans Programı'ndan "yüksek mühendis" unvanını alarak mezun oldu. Yangın güvenliği ve yangından korunma sistemleri alanında çalışmalarını sürdürmektedir. Büyük çaplı gazlı yangın söndürme projelerinde olarak görev almakta; sistemlerin saha uygulaması, koordinasyonu ve teknik süreçlerini yürütmektedir. Özellikle lityum iyon batarya ve elektrikli araç yangınları, yangının sınırlandırılması (fire containment) ve yeni nesil yangın korunum yaklaşımları üzerine teknik ve akademik çalışmalar yapmaktadır. Ulusal ve uluslararası yangın güvenliği standartları, yangından korunma sistemleri ve yangın güvenliği ekipmanlarının teknik değerlendirilmesi konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

Protection of Battery Energy Storage Systems and other Li-Ion Battery Applications

Massud Sayar
Antonio Terio

ABSTRACT

The proliferation of Battery Energy Storage Systems (BESS) and lithium-ion applications has introduced major fire protection challenges. Due to high energy density, these batteries are prone to sudden, violent fire development, often involving jet flames and thermal runaway, which can rapidly spread to adjacent materials.

Within the SUVEREN project, various firefighting means - including sprinklers, high-pressure water mist, foam, aerosol, and gaseous agents - were tested under identical conditions. The results identified water, and particularly high-pressure water mist, as the most suitable extinguishing medium for battery fires, owing to its superior heat capacity and energy-binding potential during evaporation.

Building on these findings, this presentation introduces a holistic, **EN 14972-certified** protection concept extending far beyond conventional suppression. The paper guides the audience through a **three-stage risk-mitigation strategy**: (1) Ultra-early gas detection triggering immediate BMS shutdown, (2) Active explosion prevention via forced ventilation to eliminate gas accumulation and (3) Targeted high-pressure mist suppression delivering rapid evaporative cooling to interrupt thermal runaway and prevent propagation to adjacent racks.

This paper will summarize the SUVEREN large-scale fire test findings, outline derived guidance for BESS protection and illustrate latest full-scale test results for Li-Ion rack storage. Emphasis is placed on practical benefits: minimized secondary water damage, reduced system downtime, and seamless BMS integration. We invite Turkish engineers and fire experts to review these certified modular solutions and discuss their applicability to local codes and industrial projects.

Keywords: Lithium-ion batteries, thermal runaway, high-pressure water mist, explosion prevention, BESS, EN 14972, SUVEREN project, full-scale fire tests.

1. INTRODUCTION

The rapid global proliferation of Battery Energy Storage Systems (BESS), alongside the increasing use of lithium-ion batteries in electric vehicles, hybrid drives and charging infrastructures, introduces novel and complex safety engineering challenges. Conventional fire suppression systems frequently reach their performance limits when confronted with battery fires, particularly due to the phenomenon of *thermal runaway* - an exothermic chain reaction within the cell that is notoriously difficult to arrest. In response to this critical need, this paper presents its holistic protection concept, leveraging high-pressure water mist technology to seamlessly integrate early-stage detection, explosion prevention and targeted fire suppression into a single, unified safety framework.

2. BACKGROUND (CONTEXT)

Lithium-ion batteries pose substantial fire and explosion hazards owing to their high energy density. Even during the incipient phase of a cell malfunction, minute quantities of volatile electrolyte gases are released; if adequate ventilation is absent, these gases can accumulate into explosive atmospheres. The principal challenge lies in interrupting the thermal chain reaction at the earliest possible stage - scientific consensus confirms that this can only be achieved through ultra-early detection and rapid, sustained cooling. Concurrently, propagation to adjacent battery racks and systems must be reliably prevented. Conventional protection systems, such as standard sprinklers, are often inadequate for these specific hazard scenarios, as they either respond too late, lack the necessary cooling capacity, or cause significant collateral water damage to sensitive electronic equipment.

3. OBJECTIVE

The objective of this presentation is to introduce the proposed integrated protection system for BESS and other Li-Ion applications, demonstrating its effectiveness across its three foundational pillars: Detection, Explosion Prevention and Fire Suppression. The core research question is**: How can an integrated high-pressure water mist system address the specific hazards of lithium-ion batteries - ranging from early fault detection and explosion risk mitigation to effective fire control - while simultaneously minimizing secondary water damage and system downtime?** The specific contribution lies in the development of a modular, battery-optimized protection system that is rigorously validated through large-scale 1:1 fire testing and engineered for seamless integration into existing safety architectures and Battery Management Systems (BMS).

4. METHODOLOGY / APPROACH

The presented protection concept is built upon a scientifically validated, three-stage methodology:

1. **Early Detection (Electrochemical Gas Sensing):** Ultra-sensitive electrochemical gas sensors are employed to detect even the lowest concentrations of electrolyte off-gases during the very first phase of a cell anomaly. Upon detection, the central system controller transmits an immediate shut-down signal to the Battery Management System (BMS), halting all electrochemical activity to prevent further heat accumulation within the affected battery racks.
2. **Explosion Prevention (Automated Ventilation):** Concurrent with the electrical shut-down, automated ventilation louvers are actuated, and/or mechanical ventilation is initiated. This forced air exchange effectively prevents the accumulation of potentially explosive gases within the BESS enclosure, thereby drastically reducing the probability of a deflagration or explosion event.
3. **Fire Suppression (High – Pressure Water Mist):** In the event of an actual fire, high-pressure pumps convey pure water through robust stainless-steel piping networks to strategically positioned, specialized nozzles. These nozzles generate an extremely fine water mist with an average droplet size of 50 to 100 micrometers. This droplet spectrum provides a surface area that is 100 to 200 times greater than that of conventional sprinkler droplets, enabling exceptionally rapid heat absorption and effective localized inerting.

The system’s performance characteristics have been validated through extensive 1:1 fire testing, establishing a reliable empirical data basis for custom-engineered protection layouts. The system is fully certified in accordance with EN 14972.

5. RESULTS / KEY FINDINGS

The central findings derived from our research and practical fire tests demonstrate:

- Ultra-Early Warning Capability: The high sensitivity of the gas detection system enables intervention before a fire ignites, providing a critical time window for preventive automation responses.
- Significant Thermal Reduction: The high-pressure water mist effectively reduces temperatures within the fire zone and interrupts the thermal runaway chain reaction through rapid evaporative cooling and local oxygen displacement.
- Controlled Containment: The intensive cooling effect reliably prevents the thermal propagation of fire to adjacent battery modules, effectively containing the incident to the point of origin.
- Minimal Water Consumption: Compared to conventional sprinkler systems, the high-pressure mist consumes substantially less water. This drastically minimizes the risk of water damage to unaffected equipment and reduces contaminated run-off water, enhancing overall sustainability.
- Integrated Explosion Risk Mitigation: The combination of active ventilation and mist application prevents the build-up of explosive gas mixtures, eliminating the requirement for a gas-tight enclosure and increasing system design flexibility.
- Seamless System Integration: The modular system architecture is designed for flexible retrofitting and new installations, offering compatible interface protocols for straightforward integration into overarching site-wide safety management systems.

6. CONCLUSION / ADDED VALUE

Take away for the Audience:

Lithium-ion batteries are an indispensable cornerstone of the global energy transition; however, their safe deployment demands innovative, technologically advanced protection strategies that go far beyond traditional fire codes. The holistic protection approach delivers a scientifically substantiated, field-proven solution that addresses the entire risk cascade - from the first trace of off-gassing, through explosion prevention, to effective fire suppression with minimal collateral damage.

Practical and Scientific Relevance:

- For BESS operators, system integrators, and safety consultants, this presentation offers insights into a customized, code-compliant solution (certified to EN 14972) that ensures operational continuity and asset protection.
- The unique combination of gas detection, active ventilation, and high-pressure water mist represents a novel, integrated methodology that addresses the full kinetic sequence of a battery incident, moving beyond isolated suppression tactics.
- By drastically reducing water usage, environmental contamination, and explosion hazards, this approach makes a significant contribution to the sustainable, resilient, and safe scaling of battery technology.

CURRICULUM VITAE

Massud Sayar

Massud Sayar trained as a Civil Engineer in Stuttgart and completed a degree in Industrial Engineering in Cologne. Over the past fifteen-plus years he has built a career in technical sales, specialising in the delivery of complex system solutions for the automotive, chemical and fire-protection sectors.

He combines hands-on technical understanding with commercial leadership: conceiving tailored offers, steering project execution and nurturing long-term international customer relationships. Today he serves as International Sales Engineer and International Key Account Manager at FOGTEC Fire Protection, based in Cologne, Germany bringing cross-border account management and solution selling to large, technical accounts.

His language skills have further enabled him to forge and deepen very strong business relationships across different markets, making him particularly effective in international negotiations and account development.

Antonio Terio

Dynamic professional with more than 15 years of experience in fire safety and fire protection engineering. Possessing extensive technical expertise in the design, application, and performance of the most advanced active fire protection systems, as well as in innovative technologies and solutions aimed at shaping a safer and more sustainable future for modern buildings and infrastructure.

Currently employed by FOGTEC ITALY S.r.l., I am able to combine my passion for high-pressure water mist technology with a strategic role in product innovation and differentiation. My responsibilities include identifying market and technical requirements and translating them into product portfolio development opportunities.

KIR-KENT ARAYÜZÜ (WUI) YANGINLARININ ERKEN TAHMİNİ VE RİSK YÖNETİMİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR: TÜRKİYE İÇİN BİR DEĞERLENDİRME

SILA YILMAZ
UĞUR DEMİR

ÖZET

İklim değişikliği, yapılaşmış alanların doğal alanlara doğru genişlemesi ve artan yangın şiddeti, kır-kent arayüzü (Wildland-Urban Interface, WUI) bölgelerini giderek daha kritik risk alanlarına dönüştürmektedir. ABD, Kanada, Avustralya ve Güney Avrupa'da meydana gelen büyük yangınlar; can kaybı, yapı hasarı, tahliye sorunları ve ekonomik kayıplar bakımından WUI riskinin boyutunu ortaya koymaktadır. Türkiye'de de özellikle Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerde WUI yangınlarının sıklığı ve etkileri artmaktadır. Bu durum, yangınların erken tahmin, mekânsal analiz ve önleyici planlama çerçevesinde ele alınmasını gerektirmektedir. Uydu tabanlı izleme sistemleri, meteorolojik göstergeler, fizik tabanlı yangın modelleri, olasılıksal simülasyon araçları ve yapay zekâ destekli tahmin sistemleri; yangın çıkma olasılığı, yayılma davranışı ve riskli alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışma, erken tahmin ve risk yönetiminde kullanılan model ve araçları, literatür değerlendirmesi kapsamında çalışma mantığı, veri gereksinimi, kullanım alanı ve çıktı türleri bakımından karşılaştırmaktadır. Modellerin olanakları ve sınırlılıkları değerlendirilerek Türkiye için uygulanabilir yaklaşımlar tartışılmakta ve kavramsal bir çerçeve önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: erken tahmin, kır-kent arayüzü (WUI), orman yangınları, risk yönetimi, simülasyon tabanlı modelleme

EARLY PREDICTION AND RISK MANAGEMENT APPROACHES FOR WILDLAND-URBAN INTERFACE (WUI) FIRES: AN ASSESSMENT IN TURKEY

ABSTRACT

Climate change, the expansion of built-up areas into natural landscapes, and increasing fire severity are turning wildland-urban interface (WUI) zones into critical risk areas. Major fires in the United States, Canada, Australia, and Southern Europe demonstrate the scale of WUI risk through loss of life, structural damage, evacuation difficulties, and economic losses. In Türkiye, the frequency and impacts of WUI fires are also increasing, particularly in regions influenced by the Mediterranean climate. This situation requires WUI fires to be addressed through early prediction, spatial analysis, and preventive planning. Satellite monitoring, meteorological indicators, physics-based fire models, probabilistic simulation tools, and artificial intelligence-supported systems are used to estimate fire occurrence, spread behaviors, and high-risk areas. This study compares models and tools used for early prediction and risk management through a literature review according to their operating principles, data requirements, application areas, and output types. The opportunities and limitations of these approaches are evaluated, their applicability in Türkiye is discussed, and a conceptual framework is proposed.

Keywords: early prediction, forest fires, risk management, simulation-based modelling, wildland-urban interface (WUI)

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünya genelinde meydana gelen büyük yangınlar, doğal alanlarla yerleşimlerin kesiştiği bölgelerde oluşan kayıpların ulaştığı boyutu göstermektedir. ABD'de 2018 yılında meydana gelen Camp Yangının 'da yaklaşık 62.000 hektar alan yanmış, 18.000'den fazla yapı zarar görmüş veya yok olmuş ve 85 kişi yaşamını yitirmiştir [1]. Avustralya'daki 2019–2020 yangın sezonunda yaklaşık 17 milyon hektar alan yanmış ve 3.094 konut kaybedilmiştir [2]. Türkiye'de ise 2021 yılında 2.793 orman yangını meydana gelmiş ve 139.503 hektar orman alanı etkilenmiştir [3]. Bu veriler, yangınların can güvenliği, yapı stoku, ulaşım sistemleri, tahliye süreçleri ve ekonomik kayıplar üzerinde çok boyutlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Kır-kent arayüzü, insan yerleşimleri ile orman, makilik, çalılık ve diğer yanıcı doğal örtülerin temas ettiği veya iç içe geçtiği alanları ifade etmektedir [4]. Kentlerin doğal alanlara doğru genişlemesi, bu bölgelerdeki nüfus ve yapı maruziyetini artırmaktadır [5]. Küresel ölçekte kır-kent arayüzü alanlarının kara yüzeyinin yaklaşık %4,7'sini kapladığı ve yaklaşık 3,5 milyar insanı barındırdığı belirlenmiştir [6]. Bu alanlardaki yangınların oluşumu ve yayılımı; bitkisel ve yapısal yakıtların özellikleri, topoğrafya, meteorolojik koşullar, yapılaşma biçimi ve maruziyet düzeyiyle ilişkilidir [7]. İklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışı, uzun kurak dönemler ve azalan yakıt nemi de yangına elverişli hava koşullarının süresini ve şiddetini artırmaktadır [8]. Türkiye'de Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerdeki yakıt yapısı, kuraklık koşulları, topoğrafya, insan faaliyetleri ve yerleşim gelişimi, yangın tehlikesinin mekânsal dağılımını etkilemektedir. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri, yangın davranışı modellemesi ve çok ölçütlü analiz yöntemleri kullanılarak yürütülen çalışmalar, Türkiye'de yangın davranışı ve duyarlılığının mekânsal olarak değerlendirilebildiğini göstermektedir [9, 10]. Yangın tehlikesine ilişkin bu çıktıların yapı, nüfus, erişilebilirlik ve müdahale koşullarıyla ilişkilendirilmesi, kır-kent arayüzü ölçeğindeki risk yönetiminin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.
Bu çalışma, kır-kent arayüzü yangınlarının erken tahmini ve risk yönetiminde kullanılan model ve araçları mevcut literatürün irdelenmesi yoluyla incelemektedir. Farklı dönemlerde geliştirilen yaklaşımlar; çalışma ilkeleri, veri gereksinimleri, kullanım alanları ve çıktı türleri bakımından karşılaştırılmaktadır. Modellerin sunduğu olanaklar ve kullanım sınırları değerlendirilmekte, Türkiye bağlamındaki uygulamalar incelenmekte ve bütünleşik bir değerlendirme yaklaşımı önerilmektedir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ VE KARŞILAŞTIRMA ÇERÇEVESİ

Kır-kent arayüzü yangınlarının erken tahmini ve risk yönetimine yönelik araçlar; yangının mekânsal büyümesi, davranışı, yanma olasılığı, atmosferle etkileşimi, izlenmesi ve yerleşimler üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesi gibi farklı süreçlere odaklanmaktadır. İncelenen model ve araçlar ortak bir karşılaştırma çerçevesi kapsamında çalışma ilkeleri, veri gereksinimleri, kullanım alanları ve çıktı türleri bakımından değerlendirilmiştir.

2.1. İnceleme Kapsamı ve Kaynak Seçimi

Çalışma kapsamında, 1998–2026 yılları arasında yayımlanan ve kır-kent arayüzü yangınlarının erken tahmini, mekânsal yayılımının modellenmesi, tehlike ve risk alanlarının belirlenmesi, aktif yangınların izlenmesi ve karar süreçlerinin desteklenmesiyle ilişkili yayınlar incelenmiştir [11–25]. İnceleme; yangın yayılım modellerini, olasılıksal simülasyonları, fizik tabanlı yaklaşımları, uydu destekli izleme sistemlerini, sayısal ikiz uygulamalarını ve yapay zekâ tabanlı risk tahmin araçlarını kapsamaktadır. Kaynak seçiminde modellerin kuramsal temellerini, hesaplama yaklaşımlarını ve geliştirilme süreçlerini açıklayan özgün yayınlara öncelik verilmiştir. Araçların farklı çevresel koşullardaki kullanımını ve güncel araştırma yönelimlerini ele alan uygulama çalışmaları da değerlendirmeye dâhil edilmiştir. İncelenen çalışmaların yayın yılı, yazarları, kullanılan model veya araç ve ülke bilgileri Tablo 1'de kronolojik olarak sunulmuştur.

Tablo 1. **İncelemeye alınan temel model geliştirme ve uygulama çalışmalarının kronolojik ve coğrafi dağılımı**

Yıl	Çalışma	Model/Araç	Ülke
1998	Finney [11]	FARSITE	ABD
2005	Parisien ve diğerleri [12]	Burn-P3	Kanada
2006	Finney [13]	FlamMap	ABD
2008	Tolhurst, Shields ve Chong [14]	PHOENIX RapidFire	Avustralya
2010	Tymstra ve diğerleri [15]	Prometheus	Kanada
2011	Mell ve diğerleri [16]	WFDS	ABD
2013	Coen ve diğerleri [17]	WRF-Fire	ABD
2015	Miller ve diğerleri [18]	SPARK	Avustralya
2018	Filippi [19]	ForeFire	Fransa
2020	Linn ve diğerleri [20]	QUIC-Fire	ABD
2021	Pais ve diğerleri [21]	Cell2Fire	Kanada, Şili ve ABD
2025	Paugam ve diğerleri [22]	FCI-FireDyn	Portekiz, Yunanistan ve Fransa
2025	Raha ve diğerleri [23]	FIRETWIN	ABD
2025	Markov ve diğerleri [24]	FireScope	ABD ve Avrupa
2026	Lu ve diğerleri [25]	Burn-P3 ve CanLEAD-FWI	Kanada

2.2. Model ve Araçların İşlevsel Karşılaştırılması

Yangın yönetiminde kullanılan model ve araçlar, temsil ettikleri süreçler, hesaplama yaklaşımları ve ürettikleri çıktılar bakımından farklılaşmaktadır. İncelenen araçlar; yangın yayılımı, davranış analizi, yanma olasılığı, yangın-atmosfer etkileşimi, yapı maruziyeti, aktif yangın izleme, veri bütünleştirme, mekânsal risk analizi ve karar desteği olmak üzere dokuz işlevsel ölçüt üzerinden değerlendirilmiştir. Sınıflandırmada modellerin doğrudan kullanım amaçları ve temel çıktıları esas alınmış, tekrarlı simülasyonlar veya başka sistemlerle bütünleştirme sonucunda elde edilebilen işlevler ayrıca belirtilmiştir. Yangın yayılımı, yangın cephesinin mekânsal ve zamansal gelişiminin hesaplanmasını ifade etmektedir. Davranış analizi, yayılma hızı, alev uzunluğu, yangın hattı şiddeti ve yakıt tüketimi gibi yangın davranışı parametrelerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Yanma olasılığı, farklı tutuşma ve çevresel koşullar altında bir alanın yanma ihtimalinin olasılıksal veya tekrarlı simülasyonlarla hesaplanmasını ifade etmektedir. Yangın-atmosfer etkileşimi, atmosferik koşulların yangın yayılımına ve yangından açığa çıkan ısının atmosferik akışlara etkisinin birlikte modellenmesini kapsamaktadır. Yapı maruziyeti, yapıların ve yerleşimlerin alev, ısı akısı ve kor taşınımı gibi yangın etkileriyle karşılaşma düzeyinin değerlendirilmesini ifade etmektedir. Aktif yangın izleme, devam eden yangının uydu veya sensör gözlemleri aracılığıyla takip edilmesini kapsamaktadır. Veri bütünleştirme, farklı model, sensör, görsel ve mekânsal veri çıktılarının ortak bir analiz ortamında bir araya getirilmesini ifade etmektedir. Mekânsal risk analizi, doğrudan risk hücresel veri üretilmesini veya risk değerlendirmesinde kullanılan yanma olasılığı, tehlike ve maruziyet katmanlarının mekânsal olarak değerlendirilmesini kapsamaktadır. Karar desteği, model ve analiz çıktılarının planlama, müdahale, senaryo karşılaştırması ve kaynak yönetimi süreçlerinde kullanılmasını ifade etmektedir. İncelenen model ve araçların işlevsel özellikleri Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 2. **İncelenen model ve araçların temel işlevler bakımından karşılaştırılması**

Model / Araç	Yayılım	Davranış	Yanma olasılığı	Atmosfer etkileşimi	Yapı maruziyeti	Aktif izleme	Veri bütünleştirme	Mekânsal risk	Karar desteği
FARSITE [11]	×	×							
Burn P3 [12]			×					×	×
FlamMap [13]		×							
PHOENIX RapidFire [14]	×	×			×			×	×
Prometheus [15]	×	×							×
WFDS [16]	×	×		×	×				
WRF Fire [17]	×	×		×					
SPARK [18]	×	×							×
ForeFire [19]	×	×							
QUIC Fire [20]	×	×		×					×
Cell2Fire [21]	×	×							×
FCI FireDyn [22]		×				×			
FIRETWIN [23]							×		×
FireScope [24]								×	

Yangın modelleme sistemleri, temsil ettikleri süreçler ve kullandıkları hesaplama yöntemleri bakımından farklılaşmaktadır. FARSITE, yangın cephesini vektörel olarak temsil etmekte ve yüzey yangını yayılma hızını yakıt, topoğrafya ve meteorolojik koşullara göre hesaplamaktadır [11]. Yangın çevresinin zamana bağlı ilerleyişi, hesaplanan yayılma hızlarının yangın cephesine uygulanmasıyla tahmin edilmektedir. Burn-P3, tutuşma konumu, yangın hava durumu ve yangının yayılabileceği süre gibi girdileri olasılıksal olarak örnekleyerek çok sayıda yangın senaryosu oluşturmaktadır [12]. Bu senaryoların birlikte değerlendirilmesiyle uzun dönemli yanma olasılığı haritaları üretilmekte ve farklı yakıt yönetimi seçeneklerinin karşılaştırılması desteklenmektedir. FlamMap, tanımlanan yakıt, topoğrafya, rüzgâr ve yakıt nemi koşulları altında analiz hücrelerini bağımsız olarak değerlendirmektedir [13]. Model, yayılma hızı, alev uzunluğu ve yangın hattı şiddeti gibi potansiyel yangın davranışı parametrelerinin mekânsal dağılımını hesaplamaktadır. PHOENIX RapidFire, yangının mekânsal ve zamansal gelişimini modelleyerek varış zamanı, yayılma hızı, yangın hattı şiddeti ve olası etkilenme alanlarına ilişkin operasyonel çıktılar üretmektedir [14]. Bu çıktılar yerleşim, yapı ve diğer mekânsal varlık katmanlarıyla ilişkilendirilerek maruziyet değerlendirmesi ve operasyonel karar süreçlerinde kullanılmaktadır. Prometheus, Kanada Yangın Davranışı Tahmin Sistemi'nden (Fire Behavior Prediction System, FBP) elde edilen yayılma hızlarını vektör tabanlı yangın cephesi ilerletme yöntemiyle birleştirmektedir [15]. Model, yangının büyümesini ve farklı koşullar altında oluşabilecek yayılım senaryolarını hesaplayarak operasyonel planlamayı desteklemektedir. Yangın ile çevresel bileşenler arasındaki etkileşimi temsil eden yaklaşımlar, fiziksel süreçleri ve sayısal çözüm yöntemlerini farklı ayrıntı düzeylerinde ele almaktadır. WFDS, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımıyla hava akışı, yanma, ısı transferi, bitkisel yakıtların davranışı ve yapıların ısıl maruziyetini birlikte çözümlemektedir [16]. WRF-Fire, atmosferik akış modeli ile yangın yayılım modelini çift yönlü olarak bağlamaktadır [17]. Böylece rüzgârın yangın yayılımına ve yangından açığa çıkan ısının atmosferik akışlara etkisi birlikte hesaplanmaktadır. SPARK, yangın cephesinin hareketini seviye kümesi yöntemiyle temsil etmekte ve yakıt, topoğrafya ve rüzgâr koşullarına bağlı yayılım senaryoları oluşturmaktadır [18]. Farklı girdi koşullarıyla gerçekleştirilen tekrarlı simülasyonların birleştirilmesi, yangının belirli alanlara ulaşma olasılığının ve mekânsal yayılım eğilimlerinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. ForeFire, yangın cephesini hareketli Lagrange işaretçileri aracılığıyla izlemekte ve cephenin topoğrafya, yakıt ve rüzgâr koşullarına bağlı ilerleyişini hesaplamaktadır [19]. QUIC-Fire, hızlı çalışan üç boyutlu rüzgâr çözücüsünü hücresel yangın yayılım yaklaşımıyla birleştirmektedir [20]. Sistem, yerel rüzgâr alanları, üç boyutlu yakıt yapısı, yakıt tüketimi ve yangın yayılımı arasındaki ilişkileri inceleyerek kontrollü yakma planlarının karşılaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Cell2Fire, çalışma alanını yakıt,

meteoroloji, nem ve topoğrafya özellikleriyle tanımlanan hücrelere ayırmakta ve yangının komşu hücreler arasındaki geçişini hesaplamaktadır [21]. Tekrarlı simülasyonlardan elde edilen sonuçlar, olasılıksal yayılım eğilimlerinin belirlenmesi ile yakıt yönetimi ve peyzaj planlama seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Öte yandan, uydu gözlemlerine, dijital ikizlere ve yapay zekâya dayalı güncel yaklaşımlar; aktif yangın izleme, görselleştirme, veri bütünleştirme ve mekânsal risk tahmini işlevlerine odaklanmaktadır. Bu tür yöntemlerden FCI-FireDyn, Meteosat Üçüncü Nesil uydu görüntülerini kullanarak devam eden yangınların varış zamanı, yayılma hızı ve yanmış alan gelişimini izlemektedir [22]. FIRETWIN, atmosfer ile yangın arasındaki çift yönlü etkileşimi hesaplayan Eşlenik Atmosfer–Yaban Alan Yangını Ortamı (Coupled Atmosphere–Wildland Fire Environment, CAWFE) modelinden elde edilen ısı akısı ve yangın yayılımı çıktılarını arazi, bitki örtüsü ve yapı verileriyle üç boyutlu bir dijital ikiz ortamında birleştirmektedir [23]. Sistem, yangının mekânsal gelişiminin görselleştirilmesine, farklı senaryoların incelenmesine ve müdahale kaynaklarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. FireScope ise Sentinel-2 görüntüleri, iklim verileri ve uzmanlar tarafından tanımlanan risk katmanlarından yararlanarak yüksek çözünürlüklü göreli yangın risk hücreleri üretmektedir [24].

Model seçimi; araştırmanın amacı, kullanım aşaması, mekânsal ve zamansal ölçek, veri erişilebilirliği, hesaplama gereksinimi ve hedeflenen çıktı türü doğrultusunda yapılmalıdır. Birden fazla yangın yönetimi aşamasını kapsayan çalışmalarda farklı modellerin tamamlayıcı işlevlerinden yararlanılması; yayılım, olasılık, maruziyet, izleme ve risk bilgilerinin ortak bir değerlendirme yapısında bütünleştirilmesini sağlamaktadır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yangın yönetiminin farklı aşamalarında gereksinim duyulan bilgi türü değişmektedir. Yangın öncesi değerlendirmelerde potansiyel yangın davranışı, uzun dönemli yanma olasılığı ve tehlikeli alanların mekânsal dağılımı öne çıkmaktadır [12, 13, 24]. Aktif yangın yönetiminde ise yangın cephesinin konumu, ilerleme yönü, yayılma hızı, varış zamanı ve yanmış alanın zamansal gelişimi önem kazanmaktadır [11, 14, 15, 18, 19, 21, 22]. Model seçiminin temelini kullanım aşaması, analiz ölçeği ve hedeflenen çıktı türü oluşturmaktadır. Peyzaj ölçeğinde çalışan modeller, geniş alanlarda yayılım eğilimlerinin, potansiyel davranışın ve yanma olasılığının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [11–15, 18, 19, 21]. Fizik tabanlı modeller ise yangın, yakıt, hava akımı, ısı transferi ve yapılar arasındaki süreçleri daha yüksek ayrıntı düzeyinde temsil etmektedir [16, 17, 20]. Ayrıntı düzeyinin yükselmesi, daha yüksek çözünürlüklü veri ve hesaplama kapasitesi gerektirmektedir. Bu nedenle geniş alanlarda hızlı senaryo üretimi ile yerel ölçekte ayrıntılı fiziksel çözümleme arasında çalışma amacına uygun bir denge kurulmalıdır. Simülasyon sonuçlarının güvenilirliği, hesaplama yönteminin yanı sıra giriş verilerinin mekânsal ve zamansal niteliğine bağlıdır. Yakıt sınıfları, topoğrafya, rüzgâr, yakıt nemi ve tutuşma bilgilerindeki belirsizlikler; yangın çevresi, yayılma hızı, şiddet ve yanma olasılığı çıktılarında farklılıklara yol açabilmektedir [11–13, 18, 21]. Modellerin farklı iklim ve bitki örtüsü koşullarına aktarılmasında yerel yakıt özelliklerinin tanımlanması, gerçekçi meteorolojik verilerin kullanılması ve geçmiş yangın olayları üzerinden doğrulama yapılması önem taşımaktadır [9, 10, 26]. Uydu tabanlı izleme, sayısal ikiz ve yapay zekâ yaklaşımları; geleneksel modelleme araçlarını güncel gözlem, veri bütünleştirme, görselleştirme ve mekânsal tahmin işlevleriyle tamamlamaktadır [22–24]. Kır-kent arayüzü riskinin belirlenmesi, yangın tehlikesine ilişkin çıktıların yapıların konumu ve yoğunluğu, bitkisel yakıtlarla yerleşimler arasındaki ilişki, fiziksel kırılganlık ve nüfus maruziyetiyle bütünleştirilmesini gerektirmektedir [7, 27]. Yangın davranışı çıktılarının yerleşim verileriyle ilişkilendirilmesi, olası etkilerin değerlendirilmesini ve öncelikli alanların belirlenmesini sağlayabilir.

4. TÜRKİYE İÇİN KIR-KENT ARAYÜZÜ YANGINLARINA YÖNELİK BİR BÜTÜNLEŞİK YAKLAŞIM

4.1. Türkiye'deki Mevcut Uygulamalar

Türkiye'de orman yangınlarının yönetiminde coğrafi bilgi sistemleriyle üretilen risk haritaları, meteorolojik erken uyarı ve yangın davranışı tahmin sistemleri, kamera ve gözetleme ağları, insansız hava araçları ile karar destek yazılımlarından yararlanılmaktadır [28–30]. Yapay zekâ destekli karar sistemlerinin geliştirilmesi ve operasyonel süreçlere entegrasyonuna yönelik çalışmalar sürdürülmektedir [31,32]. Orman Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen Yangın Karar Destek Sistemi; meteorolojik, coğrafi ve orman verilerini geçmiş yangın kayıtlarıyla birlikte değerlendirerek yangın çıkma olasılığı, olası yangın nedeni, yangın davranışı ve müdahale seçeneklerine ilişkin bilgiler üretmektedir [28, 29]. Meteorolojik verilerin Orman Bilgi Sistemi ve yangın davranışı modelleme araçlarına aktarılması, yangına elverişli koşulların izlenmesini ve operasyonel kararların güncel verilerle desteklenmesini sağlamaktadır [30]. İnsansız hava araçları ise yangınların erken tespiti, yangın çevresinin izlenmesi, yanmış alanın haritalanması ve yangının zamansal gelişiminin takip edilmesi amacıyla kullanılmaktadır [31]. Bu uygulamalar ağırlıklı olarak erken belirleme, aktif yangın yönetimi ve müdahale kaynaklarının yönlendirilmesine hizmet etmektedir. Türkiye'de yapay zekâ tabanlı uygulamalar da yangın olasılığının tahmini ve kaynak planlaması amacıyla kullanılmaktadır. FireAId pilot uygulamasında coğrafi, meteorolojik ve tarihsel veriler bir araya getirilerek yangın olasılığı ve müdahale kaynaklarının konumlandırılmasına yönelik çıktılar üretilmiştir [32]. Akademik çalışmalarda ise uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri, FlamMap, çok ölçütlü değerlendirme, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleriyle yangın davranışı, yangın duyarlılığı ve mekânsal risk sınıfları belirlenmiştir [9, 10, 33–36].

4.2. Mevcut Çalışmaların Kapsamı ve Bütünleştirme Gereksinimi

Türkiye'de yürütülen çalışmaların önemli bir bölümü yangının nerede ortaya çıkabileceğini, hangi çevresel koşullarda daha şiddetli davranabileceğini ve aktif yangının nasıl izlenebileceğini belirlemeye yöneliktir. Yangın duyarlılığı çalışmalarında geçmiş yangın kayıtları; topoğrafya, meteoroloji, bitki örtüsü, yakıt özellikleri ve insan faaliyetleriyle ilişkilendirilmektedir [10, 33–36]. Yangın davranışı çalışmalarında ise yakıt, eğim, rüzgâr ve yakıt nemine bağlı yayılma hızı, alev uzunluğu ve yangın hattı şiddeti gibi göstergeler hesaplanmaktadır [9]. Bu yaklaşımlar yangına elverişli alanların ve potansiyel yangın davranışının belirlenmesini sağlamaktadır. Yangın duyarlılığı veya yangın çıkma olasılığı, yangın başladıktan sonraki gelişimi tek başına açıklamamaktadır. Yangının hangi yönde ilerleyeceği, yerleşimlere ne kadar sürede ulaşacağı, hangi şiddette etkili olacağı ve hangi yapıların maruz kalacağı; olay temelli yayılım, varış zamanı ve maruziyet analizlerini gerektirmektedir. Bu nedenle duyarlılık haritaları, potansiyel davranış analizleri ve zamana bağlı yayılım simülasyonları birbirini tamamlayan bilgi katmanları olarak ele alınmalıdır.

Mevcut çalışmaların çoğu il, bölge veya geniş peyzaj ölçeğinde hücresel tabanlı duyarlılık ve tehlike haritaları üretmektedir. Bu haritalar, hangi yapıların ve nüfus gruplarının daha fazla etkilenebileceğini tek başına göstermemektedir. Kır-kent arayüzü riskinin belirlenebilmesi için yanma olasılığı, yangın şiddeti, yayılma hızı ve varış zamanı gibi tehlike çıktılarının; bina ayak izleri, yapı yoğunluğu, yapı-yakıt mesafesi, yapı özellikleri, nüfus ve fiziksel kırılganlık verileriyle ilişkilendirilmesi gerekmektedir [27]. Tahliye ve müdahale koşulları da mevcut tehlike ve duyarlılık değerlendirmelerinde sınırlı biçimde temsil edilmektedir. Yol ağı, yol genişliği, eğim, tahliye güzergâhları, su kaynakları, müdahale birimlerinin konumu ve ulaşım süresi, yangının yerleşimler üzerindeki sonuçlarını etkileyen değişkenlerdir. Bu verilerin yangın tehlikesi ve yapı maruziyetiyle birlikte değerlendirilmesi, yalnızca yüksek tehlikeye sahip alanların değil, müdahale ve tahliye bakımından öncelik taşıyan alanların da belirlenmesini sağlayacaktır. Farklı kurumlar ve araştırmalar tarafından üretilen yakıt haritaları, meteorolojik kayıtlar, uydu görüntüleri, geçmiş yangın çevreleri, bina verileri ve müdahale altyapısı farklı çözünürlük ve sınıflandırma sistemlerine sahiptir. Verilerin ortak analiz birimlerinde birleştirilmesi, farklı model çıktılarının karşılaştırılması ve yerleşim ölçeğine aktarılması açısından gereklidir.

Türkiye'deki çalışmalar ağırlıklı olarak tarihsel yangın ve meteoroloji verilerini kullanmaktadır. Gelecekte sıcaklık, kuraklık, bağıl nem, rüzgâr ve yakıt neminde oluşabilecek değişimler yangınların oluşma olasılığını, şiddetini ve yayılma hızını değiştirebilir [8, 25]. Mevcut koşullara ilişkin değerlendirmelerin gelecek iklim senaryoları altında yeniden üretilmesi, uzun vadede risk düzeyi değişebilecek yerleşimlerin belirlenmesini sağlayabilir. Türkiye için geliştirilecek yaklaşım; mevcut erken uyarı, yapay zekâ, yangın davranışı, aktif izleme ve kaynak planlama uygulamalarından yararlanarak uzun dönemli yanma olasılığı, olay temelli yayılım, yapı ve nüfus maruziyeti, fiziksel kırılganlık, tahliye koşulları, müdahale kapasitesi ve gelecek iklim senaryolarını ortak bir mekânsal değerlendirme yapısında birleştirmelidir.

4.3. Mekânsal Veri Altyapısı ve Yerelleştirme

Bütünleşik yaklaşımın ilk aşamasında ortak bir CBS tabanlı veri altyapısı oluşturulmalıdır. Yangın tehlikesine ilişkin veri grubu; arazi örtüsü, yakıt sınıfları, vejetasyon göstergeleri, topoğrafya, sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr, yağış, yakıt nemi, geçmiş yangın çevreleri ve tutuşma noktalarından oluşmalıdır. Bu veriler yangının oluşma ve yayılma koşullarının mekânsal olarak tanımlanmasını sağlayacaktır. Yerleşimlere ilişkin veri grubu; bina ayak izleri, yapı yoğunluğu, yapı kullanım türü, yapı malzemeleri, kat sayısı, yapı-yakıt mesafesi ve nüfus verilerini kapsamalıdır. Yol ağı, tahliye güzergâhları, müdahale birimleri, su kaynakları ve tahmini ulaşım süreleri ise erişilebilirlik ve müdahale bileşenlerini oluşturmalıdır. Böylece her bina, mahalle veya analiz hücresi için tehlike, maruziyet, kırılganlık ve müdahale değişkenleri birlikte tanımlanabilir. Farklı kaynaklardan elde edilen hücresel, vektörel ve tablo verileri ortak koordinat sistemi, mekânsal çözünürlük, sınıflandırma yapısı ve zaman aralığında düzenlenmelidir. Veriler arasındaki çözünürlük farklılıkları yeniden örnekleme ve mekânsal eşleştirme işlemleriyle giderilmeli, bütün değişkenler ortak analiz birimlerine aktarılmalıdır. Yakıt sınıflarının yerel bitki örtüsünü ve yangın davranışını temsil etmesi model sonuçlarının güvenilirliği açısından önemlidir. Türkiye'de yürütülen FlamMap çalışması, yakıt yükü, yakıt nemi, eğim ve rüzgârın yangın davranışı üzerindeki etkisini göstermektedir [9]. Akdeniz koşullarındaki FARSITE uygulamaları ise standart yakıt modellerinin yerel makilik ve orman özelliklerine göre uyarlanmasının ve gerçekçi rüzgâr verileriyle desteklenmesinin simülasyon sonuçlarını geliştirdiğini ortaya koymaktadır [26]. Bu nedenle yakıt haritaları geçmiş yangın çevreleri, uydu görüntüleri ve gözlenen yangın davranışlarıyla doğrulanmalıdır. Veri hazırlama sürecinin sonunda her analiz birimi için yangın tehlikesi, yapı ve nüfus maruziyeti, fiziksel kırılganlık ve müdahale koşullarını içeren bütünleşik bir veri tabanı oluşturulmalıdır.

4.4. Çok Modelli Yangın Analizi

Yangın yönetiminin bütün bileşenlerini tek bir modelle temsil etmek yerine, farklı amaçlara yönelik araçlardan oluşan görev temelli bir model zinciri kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, her modelin doğrudan ürettiği çıktıdan yararlanılmasını ve benzer işlevlerin gereksiz biçimde tekrarlanmasının önlenmesini sağlayacaktır. FlamMap, belirli yakıt ve meteorolojik koşullar altında potansiyel yayılma hızı, alev uzunluğu ve yangın hattı şiddetinin mekânsal dağılımını üretmek için kullanılabilir [13]. Bu çıktılar, çalışma alanındaki davranış farklılıklarının ve yüksek yangın şiddeti potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesini sağlayacaktır. Burn-P3, farklı tutuşma konumları, yangın süreleri ve yangın hava durumu koşulları altında çok sayıda simülasyon oluşturarak uzun dönemli yanma olasılığı üretmektedir [12]. Model, belirli bir yangın olayının anlık gelişiminden çok geniş bir zaman aralığında hangi alanların yanmaya daha fazla maruz kalabileceğini göstermektedir. Cell2Fire, seçilmiş tutuşma noktaları için yangının hücreler arasındaki zamansal ilerleyişini modellemek amacıyla kullanılabilir [21]. Yangın çevresi, yanmış alan ve zamansal büyüme örüntüsü gibi çıktılar, yangının yerleşimlere doğru gelişiminin değerlendirilmesini sağlayacaktır. FARSITE ve SPARK ise veri erişimi, çalışma ölçeği ve hesaplama gereksinimine bağlı olarak olay temelli yayılım analizlerinde alternatif araçlar olarak değerlendirilebilir [11, 18].

Peyzaj ölçeğindeki analizlerde yüksek tehlike ve maruziyet gösteren kır-kent arayüzü alanları, fizik tabanlı

modellerle daha ayrıntılı olarak incelenebilir. WFDS, bitkisel ve yapısal yakıtlar ile ısı akısı ve yapı tutuşması arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine katkı sağlayabilir [16]. WRF-Fire ve QUIC-Fire ise yerel rüzgâr alanı, topoğrafya, yakıt tüketimi ve yangın-atmosfer etkileşiminin ayrıntılı biçimde incelenmesinde kullanılabilir [17, 20]. Bu modeller, bütün çalışma alanının rutin analizinden çok seçilmiş alanlardaki ayrıntılı incelemeler için uygundur. Uydu ve insansız hava aracı gözlemleri model zincirinin doğrulama ve güncelleme bileşenini oluşturmalıdır. Gözlenen yangın çevresi, yayılma hızı ve yanmış alan değerleri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmalı; belirlenen farklılıklar yakıt sınıfları, rüzgâr alanları ve yakıt nemi girdilerinin düzenlenmesinde kullanılmalıdır [22, 31].

4.5. Yapay Zekâ Tabanlı Bütünleştirme ve Doğrulama

Yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri, yangın mühendisliğinde tahmin, sınıflandırma ve karar destek amacıyla kullanılmaktadır [37]. Yapay sinir ağları (Artificial Neural Network, ANN), girdiler ile çıktılar arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri öğrenmektedir [37]. Rastgele orman (Random Forest, RF), çok sayıda karar ağacının tahminlerini birleştirmektedir [37]. Destek vektör makinesi (Support Vector Machine, SVM), veri sınıfları arasındaki karar sınırını belirlemektedir [37]. Aşırı gradyan artırma (eXtreme Gradient Boosting, XGBoost), ardışık karar ağaçlarıyla tahmin hatalarını azaltmaktadır [38]. Evrişimli sinir ağları (Convolutional Neural Network, CNN), görüntü ve hücre verilerdeki mekânsal örüntüleri öğrenmektedir [39]. Bu yöntemler dünya genelinde yangın duyarlılığı ve mekânsal risk tahmini çalışmalarında uygulanmaktadır [24, 40]. Türkiye'de İstanbul'un kır-kent arayüzü alanlarında makine öğrenmesi ve coğrafi bilgi sistemi verileriyle yangın riski değerlendirilmiştir [33]. Adana ve Mersin'de uzaktan algılanmış yangın verileri makine öğrenmesi yöntemleriyle işlenmiştir [34]. Akdeniz Bölgesi'nde CNN ve çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron, MLP) modelleriyle yangın duyarlılığı haritaları üretilmiştir [35]. Yapay zekâ yöntemleri, Türkiye'de orman yangını kriz yönetimine yönelik karar destek çalışmalarında da kullanılmıştır [36]. Bu örnekler, farklı yapay zekâ yöntemlerinin Türkiye'deki yangın riski değerlendirmelerinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak mevcut çalışmalar çoğunlukla yangın duyarlılığı, yangın çıkma olasılığı veya risk sınıflandırması gibi belirli bir bileşene odaklanmaktadır. Türkiye için önerilen yaklaşımda yapay zekâ yöntemleri, farklı yangın modellerinden ve veri gruplarından elde edilen sonuçların ortak bir karar destek yapısında bütünleştirilmesinde kullanılabilir. Yanma olasılığı, yangın hattı şiddeti, yayılma hızı ve varış zamanı gibi model çıktıları; yapı kırılganlığı, bina yoğunluğu, yapı ile yakıt arasındaki mesafe, nüfus, yol erişimi, tahliye koşulları ve müdahale kapasitesiyle birlikte değerlendirilebilir. Uydu görüntüleri, arazi örtüsü, vejetasyon göstergeleri, topoğrafya, yakıt haritaları ve yangın simülasyonu çıktıları gibi hücre veriler CNN tabanlı yöntemlerle değerlendirilebilir. Bina, nüfus, erişim ve müdahale değişkenleri gibi sayısal veriler ANN, RF, SVM veya XGBoost yöntemleriyle işlenebilir. Bu yöntemler ayrı modeller olarak karşılaştırılabilir veya ortak bir model yapısında birleştirilebilir. Böylece bina, mahalle veya yerleşim ölçeğinde kır-kent arayüzü risk skoru ve risk sınıfı üretilebilir.

Modelin hedef değişkeni, yangın tehlikesi için geçmiş yangın çevreleri ve yanmış alanlardan seçilebilir. Yerleşim riski için yapı etkilenme kayıtları, hasar düzeyleri veya uzman değerlendirmeleri kullanılabilir. Alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan (Receiver Operating Characteristic Area Under the Curve, ROC-AUC), modelin sınıfları ayırma başarısını gösterir [41]. F1 skoru, kesinlik ve duyarlılığı birlikte değerlendirir. Doğruluk, doğru sınıflandırılan örneklerin oranını ifade eder [42]. Belirleme katsayısı (R^2), modelin gözlenen değişimi açıklama düzeyini gösterir. Ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE), tahmin hatalarının mutlak ortalamasıdır. Ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE), tahmin hatalarının karelerinin ortalamasıdır [43]. Uygun yöntem, veri türü, hedeflenen çıktı, tahmin başarısı ve açıklanabilirlik dikkate alınarak seçilmelidir.

4.6. İklim Değişikliği Senaryolarının Entegrasyonu

İklim değişikliği, meteorolojik koşullar ve yakıt özelliklerinde oluşturduğu değişimler üzerinden model girdilerine aktarılan bir senaryo sistemi olarak değerlendirilmelidir. Sıcaklık, yağış, bağıl nem, rüzgâr, kuraklık ve yakıt nemindeki değişimler yangına elverişli koşulların süresini, yanma olasılığını ve yangın şiddetini etkileyebilir [8].

Bu kapsamda ilk olarak tarihsel referans dönemine ait meteorolojik ve yangın hava durumu verileri hazırlanmalıdır. Ardından bölgesel iklim projeksiyonları kullanılarak gelecek dönem sıcaklık, yağış, bağıl nem, rüzgâr, yakıt nemi ve yangın hava indisi değerleri oluşturulmalıdır. Farklı iklim modellerinin birlikte değerlendirilmesi, geleceğe ilişkin sonuçların tek bir modele veya senaryoya bağlı kalmasını önleyecektir. Kanada için geliştirilen çalışmada yaklaşık 2,5 °C küresel ısınmaya karşılık gelen 2054–2084 dönemi, yapıların yaklaşık 50 yıllık kullanım süresiyle ilişkilendirilmiştir [25]. Bu yaklaşım, Türkiye'de yapı ve yerleşim planlamasıyla uyumlu bir gelecek dönem belirlenmesi açısından yöntemsel bir örnek sunmaktadır. Gelecek dönem meteorolojik verileri FlamMap, Burn-P3 ve Cell2Fire modellerine yeniden aktarılarak potansiyel yangın davranışı, yanma olasılığı ve olay temelli yayılım çıktıları tekrar üretilmelidir. Mevcut ve gelecek dönem sonuçları arasındaki değişimler yerleşim ve yapı verileriyle ilişkilendirilmeli, risk sınıfı yükselen alanlar belirlenmelidir. Bu değerlendirme sonucunda gelecekte öncelik kazanabilecek yakıt yönetimi alanları, yapı güvenliği uygulamaları, tahliye güzergâhları ve müdahale kaynakları tanımlanabilir. Böylece iklim değişikliği, yalnızca yangın tehlikesindeki genel artışı gösteren bir unsur olmaktan çıkarak uzun vadeli kır-kent arayüzü planlamasını yönlendiren bir karar bileşenine dönüştürülebilir.

5. SONUÇ

Kır-kent arayüzü yangınları; yangın tehlikesi, yerleşim maruziyeti, yapı özellikleri, nüfus, tahliye olanakları ve müdahale kapasitesinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir risk alanıdır. Yangının oluşma ve yayılma özellikleri kadar yerleşimlerin fiziksel yapısı ve müdahale koşulları da ortaya çıkabilecek kayıpların düzeyini belirlemektedir. Bu nedenle erken tahmin ve risk yönetimi, farklı veri ve analiz çıktılarının ortak bir değerlendirme yapısında bütünleştirilmesine dayanmalıdır. İncelenen model ve araçlar, yangın yönetiminin farklı aşamalarına yönelik tamamlayıcı bilgiler üretmektedir. Olasılıksal modeller uzun dönemli yanma eğilimlerini, yayılım modelleri yangının mekânsal ve zamansal gelişimini, fizik tabanlı modeller yangın ile çevresel bileşenler arasındaki etkileşimleri, uydu ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar ise izleme, tahmin ve veri bütünleştirme süreçlerini desteklemektedir. Bu çeşitlilik, model seçiminin araştırma amacı, çalışma ölçeği, veri kullanılabilirliği ve hedeflenen çıktı doğrultusunda yapılmasını gerekli kılmaktadır. Görevleri açık biçimde tanımlanmış bir model zinciri, üretilen sonuçların daha tutarlı ve izlenebilir biçimde değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Türkiye'de meteorolojik erken uyarı, uzaktan izleme, yangın davranışı analizi ve yapay zekâ destekli karar sistemlerine yönelik önemli bir teknik ve akademik birikim bulunmaktadır. Bu birikimin kır-kent arayüzü ölçeğinde geliştirilmesi, yangın tehlikesine ilişkin çıktılar ile yapı, nüfus, ulaşım, tahliye ve müdahale verileri arasında mekânsal bağlantı kurulmasına bağlıdır. Böylece yangının oluşabileceği alanların yanında, daha yüksek kayıp ve etkilenme potansiyeline sahip yerleşimler de belirlenebilir. Türkiye için önerilen yaklaşım; yerel yakıt özelliklerini, meteorolojik koşulları, geçmiş yangın kayıtlarını ve simülasyon çıktılarını yerleşimlere ilişkin maruziyet ve kırılganlık verileriyle bir araya getirmektedir. Yapay zekâ modeli bu farklı bilgi gruplarını ortak bir karar destek yapısında işleyerek bina, mahalle veya yerleşim ölçeğinde karşılaştırılabilir risk sonuçları üretebilir. Model sonuçlarının gözlenen yangın çevreleri, yanmış alanlar ve yapı etkilenme kayıtlarıyla doğrulanması, değerlendirmelerin güvenilirliğini ve uygulamadaki kullanılabilirliğini güçlendirecektir.

Gelecek iklim koşullarının meteorolojik ve yakıtla ilişkili girdiler üzerinden modele aktarılması, risk düzeyi değişebilecek alanların önceden belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu yaklaşım; yakıt yönetimi, yapı güvenliği, tahliye planlaması, müdahale kaynaklarının konumlandırılması ve uzun vadeli mekânsal planlama

için ortak bir bilgi temeli sunmaktadır. Çalışma sonucunda, kır-kent arayüzü yangınlarının yönetiminde temel gereksinimin tek bir model seçiminden çok, farklı işlevlere sahip araçlar arasında tutarlı bir analiz zinciri kurulması olduğu belirlenmiştir. Önerilen çerçevenin seçilmiş pilot alanlarda uygulanması, yerel verilerle geliştirilmesi ve gerçek yangın olayları üzerinden sınanması, Türkiye'de erken tahmin ile risk azaltma çalışmalarının daha bütünleşik ve uygulanabilir bir yapıya ulaşmasını sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

[1] BUTTE COUNTY OFFICE OF EMERGENCY MANAGEMENT, "Camp Fire Response: County-Wide After Action Report", Butte County, California, 2020.
[2] ROYAL COMMISSION INTO NATIONAL NATURAL DISASTER ARRANGEMENTS, "Royal Commission into National Natural Disaster Arrangements Report", Commonwealth of Australia, Canberra, 2020.
[3] ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, "Ormancılık İstatistikleri 2022", Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 2023.
[4] RADELOFF, V. C., HAMMER, R. B., STEWART, S. I., FRIED, J. S., HOLCOMB, S. S. ve MCKEEFRY, J. F., The Wildland-Urban Interface in the United States, Ecological Applications, Cilt 15, Sayı 3, s. 799-805, 2005.
[5] RADELOFF, V. C., HELMERS, D. P., KRAMER, H. A., MOCKRIN, M. H., ALEXANDRE, P. M., BAR-MASSADA, A., BUTSIC, V., HAWBAKER, T. J., MARTINUZZI, S., SYPHARD, A. D. ve STEWART, S. I., Rapid Growth of the US Wildland-Urban Interface Raises Wildfire Risk, Proceedings of the National Academy of Sciences, Cilt 115, Sayı 13, s. 3314-3319, 2018.
[6] SCHUG, F., BAR-MASSADA, A., CARLSON, A. R., COX, H., HAWBAKER, T. J., HELMERS, D., HOSTERT, P., KAIM, D., KASRAEE, N. K., MARTINUZZI, S., MOCKRIN, M. H., PFOCH, K. A. ve RADELOFF, V. C., The Global Wildland-Urban Interface, Nature, Cilt 621, Sayı 7977, s. 94-99, 2023.
[7] MELL, W. E., MANZELLO, S. L., MARANGHIDES, A., BUTRY, D. T. ve REHM, R. G., The Wildland-Urban Interface Fire Problem: Current Approaches and Research Needs, International Journal of Wildland Fire, Cilt 19, Sayı 2, s. 238-251, 2010.
[8] JOLLY, W. M., COCHRANE, M. A., FREEBORN, P. H., HOLDEN, Z. A., BROWN, T. J., WILLIAMSON, G. J. ve BOWMAN, D. M. J. S., Climate-Induced Variations in Global Wildfire Danger from 1979 to 2013, Nature Communications, Cilt 6, Makale No 7537, 2015.
[9] YAVUZ, M., SAĞLAM, B., KÜÇÜK, Ö. ve TÜFEKÇİOĞLU, A., Assessing Forest Fire Behavior Simulation Using FlamMap Software and Remote Sensing Techniques in Western Black Sea Region, Turkey, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2, s. 171-188, 2018.
[10] NOVO, A., DUTAL, H. ve ESKANDARI, S., Fire Susceptibility Modeling and Mapping in Mediterranean Forests of Turkey: A Comprehensive Study Based on Fuel, Climatic, Topographic, and Anthropogenic Factors, Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, Cilt 9, Sayı 2, s. 655-679, 2024.
[11] FINNEY, M. A., "FARSITE: Fire Area Simulator, Model Development and Evaluation", Research Paper RMRS-RP-4, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, 1998.
[12] PARISIEN, M.-A., KAFKA, V. G., HIRSCH, K. G., TODD, J. B., LAVOIE, S. G. ve MACZEK, P. D., "Mapping Wildfire Susceptibility with the Burn-P3 Simulation Model", Information Report NOR-X-405, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, 2005.
[13] FINNEY, M. A., An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities, Fuels Management: How to Measure Success, Conference Proceedings RMRS-P-41, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, s. 213-220, 2006.
[14] TOLHURST, K. G., SHIELDS, B. J. ve CHONG, D. M., Phoenix: Development and Application of a Bushfire Risk Management Tool, Australian Journal of Emergency Management, Cilt 23, Sayı 4, s. 47-54, 2008.
[15] TYMSTRA, C., BRYCE, R. W., WOTTON, B. M., TAYLOR, S. W. ve ARMITAGE, O. B., "Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model", Information Report NOR-X-417, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmon-

ton, 2010.
[16] MELL, W., MCNAMARA, D., MARANGHIDES, A., MCDERMOTT, R., FORNEY, G., HOFFMAN, C. ve GINDER, M., Computer Modelling of Wildland-Urban Interface Fires, Fire and Materials 2011 Conference, San Francisco, 31 Ocak-2 Şubat 2011.
[17] COEN, J. L., CAMERON, M., MICHALEKES, J., PATTON, E. G., RIGGAN, P. J. ve YEDINAK, K. M., WRF-Fire: Coupled Weather-Wildland Fire Modeling with the Weather Research and Forecasting Model, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Cilt 52, Sayı 1, s. 16-38, 2013.
[18] MILLER, C., HILTON, J. E., SULLIVAN, A. ve PRAKASH, M., SPARK: A Bushfire Spread Prediction Tool, Environmental Software Systems: Infrastructures, Services and Applications, Cilt 448, Springer International Publishing, s. 262-271, 2015.
[19] FILIPPI, J.-B., ForeFire Open Source Wildfire Front Propagation Model Solver and Programming Interface, CEUR Workshop Proceedings, Cilt 2146, s. 87-91, 2018.
[20] LINN, R. R., GOODRICK, S. L., BRAMBILLA, S., BROWN, M. J., MIDDLETON, R. S., O'BRIEN, J. J. ve HIERS, J. K., QUIC-Fire: A Fast-Running Simulation Tool for Prescribed Fire Planning, Environmental Modelling & Software, Cilt 125, Makale No 104616, 2020.
[21] PAIS, C., CARRASCO, J., MARTELL, D. L., WEINTRAUB, A. ve WOODRUFF, D. L., Cell2Fire: A Cell-Based Forest Fire Growth Model to Support Strategic Landscape Management Planning, Frontiers in Forests and Global Change, Cilt 4, Makale No 692706, 2021.
[22] PAUGAM, R., BENALI, A., HARVIE, J., MERANER, A., ANDELA, N. ve XU, W., "Fire Behavior Monitoring Using Meteosat Third Generation, FCI-FireDyn Algorithm: Rate of Spread and Burnt Area Dynamics for Large Fire Event", arXiv:2510.26677, 2025.
[23] RAHA, M. H., TAVAKKOLI, A. R., WEBB, C., HABIBPOUR, M., COEN, J., ROWELL, E. ve AFGHAH, F., FIRETWIN: Digital Twin Advancing Multi-Modal Sensing, Interactive Analytics for Wildfire Response, arXiv:2510.18879, 2025.
[24] MARKOV, M., AILURO, S. M., VAN GOOL, L., SCHINDLER, K. ve PAUDEL, D. P., FireScope: Wildfire Risk Prediction with a Chain-of-Thought Oracle, arXiv:2511.17171, 2025.
[25] LU, H., GAUR, A., ERNI, S., SANDISON, J. ve BÉNICHOU, N., Climate-Driven Changes in Wildfire Hazard and Implications for Resilient Building Design, Fire, Cilt 9, Sayı 3, Makale No 104, 2026.
[26] ARCA, B., DUCE, P., LACONI, M., PELLIZZARO, G., SALIS, M. ve SPANO, D., Evaluation of FARSITE Simulator in Mediterranean Maquis, International Journal of Wildland Fire, Cilt 16, Sayı 5, s. 563-572, 2007.
[27] ERNI, S., WANG, X., SWYSTUN, T., TAYLOR, S. W., PARISIEN, M.-A., ROBINNE, F.-N., EDDY, B., OLIVER, J., ARMITAGE, B. ve FLANNIGAN, M. D., Mapping Wildfire Hazard, Vulnerability, and Risk to Canadian Communities, International Journal of Disaster Risk Reduction, Cilt 101, Makale No 104221, 2024.
[28] COŞKUNER, K. A. ve BİLGİLİ, E., Orman Yangın Yönetiminde Etkili Bir Karar Destek Sisteminin Kavramsal Çerçevesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, s. 288-303, 2020.
[29] ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, "2021 Yılı İdare Faaliyet Raporu", Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 2022.
[30] ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, "2022 Yılı İdare Faaliyet Raporu", Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 2023.
[31] ORMAN GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, "2025 Yılı İdare Faaliyet Raporu", Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 2026.
[32] WORLD ECONOMIC FORUM, "The Next Frontier in Fighting Wildfires: FireAId Pilot and Scaling", World Economic Forum, Geneva, 2023.
[33] AKSOY, E., KOÇER, A., YILMAZ, İ., AKÇAL, A. N. ve AKPINAR, K., Assessing Fire Risk in Wildland-Urban Interface Regions Using a Machine Learning Method and GIS Data: The Example of Istanbul's European Side, Fire, Cilt 6, Sayı 10, Makale No 408, 2023.
[34] IBAN, M. C. ve SEKERTEKİN, A., Machine Learning-Based Wildfire Susceptibility Mapping Using Remotely Sensed Fire Data and GIS: A Case Study of Adana and Mersin Provinces, Turkey, Ecological Informatics, Cilt 69, Makale No 101647, 2022.
[35] GÜRSOY, M. İ., ORHAN, O. ve TEKİN, S., Creation of Wildfire Susceptibility Maps in the Mediterranean

Region, Turkey, Using Convolutional Neural Networks and Multilayer Perceptron Techniques, Forest Ecology and Management, Cilt 538, Makale No 121006, 2023.
[36] YARAŞ, İ. E. ve ONAN, A., Artificial Intelligence Assisted Decision Support System for Forest Fire Crisis Management in Turkey, Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University, Cilt 8, Sayı 2, s. 95-113, 2025.
[37] NASER, M. Z., Mechanistically Informed Machine Learning and Artificial Intelligence in Fire Engineering and Sciences, Fire Technology, Cilt 57, Sayı 6, s. 2741-2784, 2021.
[38] CHEN, T. ve GUESTRIN, C., XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM, s. 785-794, 2016.
[39] LI, Z., LIU, F., YANG, W., PENG, S. ve ZHOU, J., A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Cilt 33, Sayı 12, s. 6999-7019, 2022.
[40] ZHANG, G., WANG, M. ve LIU, K., Deep Neural Networks for Global Wildfire Susceptibility Modelling, Ecological Indicators, Cilt 127, Makale No 107735, 2021.
[41] FAWCETT, T., An Introduction to ROC Analysis, Pattern Recognition Letters, Cilt 27, Sayı 8, s. 861-874, 2006.
[42] SOKOLOVA, M. ve LAPALME, G., A Systematic Analysis of Performance Measures for Classification Tasks, Information Processing & Management, Cilt 45, Sayı 4, s. 427-437, 2009
[43] CHICCO, D., WARRENS, M. J. ve JURMAN, G., The Coefficient of Determination R-Squared Is More Informative Than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in Regression Analysis Evaluation, PeerJ Computer Science, Cilt 7, Makale No e623, 2021.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Sıla Yılmaz, mimar olup İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümünde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Çalışmaları kır-kent arayüzü yangınları, yapı ve yerleşim ölçeğinde yangın riski, coğrafi bilgi sistemleri, yangın simülasyonları ve yapay zekâ tabanlı karar destek modelleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Güncel araştırmalarında mekânsal veriler, iklim değişikliği senaryoları ve yapı kırılganlığı göstergelerinin bütünleşik yangın risk değerlendirmelerinde kullanılmasını incelemektedir.

Doç. Dr. Uğur Demir, lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Mühendisliği Programında tamamlamıştır. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları yapısal deprem ve yangın mühendisliği, betonarme yapılar, yapıların onarım ve güçlendirilmesi, yapı sağlığının izlenmesi, yüksek performanslı betonlar ve kompozit malzemeler üzerinde yoğunlaşmaktadır.

KONYA'DA BÜYÜK ÇARŞI YANGINI (1867) VE ŞEHRİN FİZİKSEL DÖNÜŞÜMÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ahmet Tayfur KÜÇÜKTIĞLI
Ali GİRAY

ÖZET

Konya, tarih boyunca çeşitli afetlere maruz kalmış bir şehirdir. Şehrin yangınlar tarihindeki en yıkıcı olaylardan biri, "Büyük Çarşı Yangını" olarak bilinen ve 27 Eylül 1867 gecesi Kapu Camii civarında başlayan yangındır. Yangın, o dönemde modern bir itfaiye teşkilatının ve şehir şebeke suyunun bulunmaması, teçhizat yetersizliği ve şiddetli rüzgârın etkisiyle kısa sürede kontrol edilemez bir boyuta ulaşmıştır. Ayrıca olay anında Konya halkının önemli bir kısmının yaylalarda veya Meram bağlarında olması, müdahaleyi geciktiren beşerî bir faktör olarak öne çıkmıştır.

Yaklaşık dört saat süren bu afet sonucunda 872 dükkân, 3 ev ve 2 cami tamamen yanmıştır. Bu büyük yıkım, Konya'nın geleneksel çarşı dokusunda telafisi güç kayıplara neden olmuş; 19. yüzyıl öncesine ait ticari yapıların büyük bir kısmının günümüze ulaşamamasına yol açmıştır.

Ancak afet sonrası süreç, şehrin modernleşmesi açısından dönüm noktası teşkil etmiştir. Yangının ardından gerçekleştirilen yeniden inşa faaliyetleri, çarşıdaki sokak düzensizliklerinin giderilmesine ve daha planlı bir yerleşim düzeninin kurulmasına zemin hazırlamıştır. Bu çalışma, 1867 yangınını afet yönetimi bağlamında ele alarak, büyük ölçekli bir kentsel yangının şehrin ticari merkezi üzerindeki yıkıcı etkilerini ve sonrasında yaşanan mekânsal dönüşüm sürecini incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Konya Çarşı Yangını, Afet Yönetimi, Kentsel Dönüşüm

ABSTRACT

Throughout history, Konya has been a city exposed to various disasters. One of the most severe fire-related events in the city's history is the "Great Bazaar Fire," which broke out on the night of September 27, 1867, near the Kapu Mosque. Due to the absence of a modern fire department and a municipal water supply at the time, the fire quickly escalated to a scale that could not be brought under control. Furthermore, the fact that a significant portion of Konya's population was away at highland pastures or the Meram vineyards at the time of the incident served as a human factor that delayed the response.

As a result of this disaster, which lasted approximately four hours, 872 shops, 3 houses, and 2 mosques were completely destroyed. This massive devastation caused irreparable losses to the traditional fabric of Konya's bazaar and led to the destruction of a large number of commercial structures dating back to before the 19th century.

However, the subsequent period marked a turning point in the city's modernization. Reconstruction efforts following the fire paved the way for reorganizing the bazaar's street layout and establishing a more planned urban arrangement. This study aims to examine the destructive events that impacted Konya's commercial center and the ensuing process of spatial transformation, focusing on the disaster and the changes that followed.

Keywords: Konya Bazaar Fire, Disaster Management, Urban Transformation

GİRİŞ

Tarih boyunca farklı dönemlerde çok çeşitli birçok afet meydana gelmiş ve bu afetlerin sonuçları toplumlar üzerinde derin etkiler bırakmış, önemli kırılmaların yaşanmasına sebep olmuştur. Afetler genel olarak insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, insanların toplumsal yaşamını ve eylemlerini sonlandırabilecek veya kesintiye uğratabilecek, imkânların yetersiz kaldığı olaylar olarak tanımlanmaktadır. Afetler, doğal ve insan kaynaklı olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. İster doğal ister insan kaynaklı olsun afetlerin hepsi sosyal, ekonomik ve çevresel yapıda ciddi tahribata yol açan olağandışı olaylar olarak ifade edilebilir. Doğal afetler içerisinde yer alan deprem, sel, yangın, volkanik patlama ve fırtına gibi meteorolojik kaynaklı afetlerin dışında sanayi kazaları, radyoaktif sızıntılar ve maden kazaları gibi insan kaynaklı afetler de sıklıkla meydana gelen afetler kategorisinde sayılmaktadır [1].

Tarihte Konya her ne kadar büyük afetlerin yaşandığı bir şehir olmasa da zaman zaman kuraklık, yangın vb. afetlerle yüzleşmiştir. Konya'nın Anadolu'da önemli bir şehir haline gelerek dokusunun ve siluetinin şekillenmesi Selçuklular dönemine denk gelmektedir. Konya, Selçuklulardan önce açık kent halinde iken Selçuklular döneminde çevresi surla çevrilerek kapalı kent haline dönüşmüştür. Bu dönemde ticari yoğunluk, surun içinde şehrin doğusunda günümüzün geleneksel Konya çarşısının bulunduğu alanda geliştiği söylenmektedir. Osmanlı devleti zamanında Kanunî Sultan Süleyman döneminde Kazasker Kadri Çelebi tarafından yaptırılan Konya Bedesteni bugün bile şehrin en canlı bölgesi olarak varlığını devam ettirmektedir [2].

Osmanlı devletinde yaşanmış olan şehir yangınları şehirlerin değişmesine ve gelişmesine yön veren, kentsel planlama ve çeşitli belediye hizmetleri açısından bazen olumlu bazen de olumsuz etkileri olan olaylardır. Yangınlarla mücadele 19. yüzyıl boyunca Osmanlı devletinin mali durumunu oldukça derinden etkilediği gibi idari ve siyasi teşkilatlanmasına da etki etmiştir. Yani yangınlarla mücadele politikası Osmanlı devleti kamu yönetiminin şekillenmesinde rol oynamıştır [3].

1867 yılındaki Konya Büyük Çarşı Yangını Konya şehir merkezinin yeniden yapılanmasında önemli bir role sahip olmuştur. Bu çalışma ile yangının gelişimi bunun afet yönetimi perspektifinden değerlendirilmesi ve yangın sonrası yeniden yapılanma ve mekânsal dönüşüm süreçleri anlatılmaya çalışılacaktır.

YANGIN ÖNCESİ KONYA ÇARŞISI

Coğrafî konumu itibariyle Konya, Anadolu'nun doğu-batı ve kuzey-güney ulaşımlarının kesiştiği bir noktada bulunmaktadır. Bu sebeple tarihî seyre bakıldığında önemli yollar üzerinde bulunan transit ticaret merkezi ve antrepo işlemlerinin yapıldığı bir merkez olmuştur [5]. Konya'nın bu stratejik konumu, şehrin ekonomik ve ticari hayatının büyük ölçüde çarşı merkezinde yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Ticaret yollarının kesişim noktasında yer alan çarşı, yalnızca Konya halkının değil, çevre bölgelerden gelen tüccarların da faaliyet gösterdiği canlı bir ekonomik merkez niteliği taşımaktaydı. Bu nedenle çarşıda meydana gelen herhangi bir afet, yalnızca fiziksel yapıları değil, aynı zamanda şehrin ekonomik ve sosyal yaşamını da derinden etkileme potansiyeline sahipti. Nitekim 1867 yılında meydana gelen Konya Büyük Çarşı Yangını, bu etkinin en çarpıcı örneklerinden biri olarak şehrin tarihinde yerini almıştır.

1867 yılı öncesinde Konya Çarşısı, bugünkü Kapu Camii ve çevresindeki dükkânlar ile Aziziye Camii'nin bulunduğu alandaki eski Yüksek Camii çevresi ve hükümet konağı arasındaki dükkânlardan oluşan geniş bir ticaret merkezi niteliğindeydi. Çarşı, Sultan Selim Camii yanında bulunan Yusufağa Kütüphanesi karşısındaki Derihane'den başlayarak eski Buğday Pazarı olarak bilinen bölgeye kadar uzanmaktaydı. Ticaret faaliyetlerinin yoğun olarak yürütüldüğü bu alandaki dükkânların büyük çoğunluğu ahşap malzemeden inşa edilmiş olup, üzerleri toprak damlarla örtülüydü. Kapu Camii'nin güney kesiminde ise şehrin odun pazarı yer almakta; eşek, deve ve kağnılarla getirilen odunlar burada depolanarak satışa sunulmaktaydı. Çarşının fiziki yapısı, yangın riskini artıran önemli özellikler taşımaktaydı. Ahşap dükkânların birbirine bitişik şekilde inşa edilmiş olması ve sokakların oldukça dar olması, olası bir yangının kısa sürede geniş bir alana yayılmasına elverişli bir ortam oluşturuyordu. Dükkânların ön cephelerinde bulunan ahşap kepenkler, gündüz saatlerinde altlarına destek konularak oturma sediri olarak kullanılmakta, müşteriler alışverişlerini bu bölümlerde gerçekleştirmekteydi. Esnafın kepenkleri açmasıyla birlikte sokaklarda yalnızca iki kişinin yan yana yürüyebileceği kadar dar bir geçiş alanı kalmaktaydı. Bu durum, çarşının canlı bir sosyal ve ticari etkileşim alanı olmasını sağlamakla birlikte, yangın gibi afetler karşısında müdahaleyi güçleştiren yapısal unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Nitekim müşteri bulunmadığı zamanlarda esnafın birbirleriyle sohbet ettiği ve ikramlarda bulunduğu, gayrimüslim esnafa ait bazı dükkânlarda ise sandalye ve masa gibi dönemin diğer dükkânlarından farklı mefruşatın bulunduğu bilinmektedir [4]. O dönemde Konya çarşısındaki dükkânların büyük bir kısmının mülkiyeti Konya'daki vakıflara ait olup geri kalanları ise şahıslara aittir [5].

YANGININ ORTAYA ÇIKIŞI, GELİŞİMİ ve ÇARŞININ YENİDEN İNŞASI

Konya çarşı yangını 27 Eylül 1867 Cuma gününü 28 Eylül 1867 Cumartesi gününe bağlayan gece sabaha karşı saat 07.00 sularında başlamıştır. Yangın Konya çarşısının merkezinde yer alan Kapu Camii'nin bitişiğinde bulunan çubukçu dükkânı (Osmanlı döneminde tütün ve nargile malzemelerinin satıldığı dükkân) civarında başlamıştır. Arşiv kaynaklarında yangına, çubukçu dükkânının alt tarafında bulunan kahve ocağındaki mangal ateşinin söndüğü düşünülerek dükkân sahibi tarafından orada bırakılmasının sebep olduğu söylenmektedir. Nitekim mangaldaki kömürler, gece boyu içten içe yanarak sabah saat 07.00 sıralarında alevlenerek dükkânda yangını başlatmıştır. Yangın rüzgârın da etkisiyle önce Kapu Camisine sıçramış oradan birkaç koldan çarşıya yayılmış ve kısa süre içerisinde bütün çarşıyı kaplamıştır. Kısa sürede yangını söndürmek için büyük bir gayret gösterilmiş olsa da yangın söndürme malzemelerinin yetersizliği sebebi ile bu mümkün olmamıştır. Yangının bu denli büyümesinde; ahşap yapılaşma, dar sokaklar, şiddetli rüzgâr, modern itfaiye teşkilatının bulunmaması, su altyapısının yetersizliği ve halkın önemli bir bölümünün Meram bağlarında bulunması gibi faktörlerin bulunduğu ifade edilmektedir. Yangın dört saat süren bir çalışma

neticesinde söndürülebilmiştir. Yangın sebebi ile irili ufaklı 872 dükkân, 3 ev ve 2 cami tamamen yanarak kullanılamaz hale gelmiştir [6].

Yangının kontrol altına alınmasının ardından Konya'da yeniden imar süreci başlatılmıştır. Bu kapsamda Vali Ahmet Tevfik Paşa'nın öncülüğünde bir imar komisyonu kurulmuş, Vilayet Nâfıa Müdürü olan gayrimüslim bir mühendise çarşının yeni planı hazırlatılmıştır. Hazırlanan plan doğrultusunda esnaf grupları faaliyet alanlarına göre belirli bölgelere yerleştirilmiş; yollar genişletilmiş, dükkânlar ise daha düzenli ve ızgara plan anlayışına uygun biçimde yeniden inşa edilmiştir. Vali Ahmet Tevfik Paşa, Belediye Reisi Hacı Fasih Efendi ve Mevlâna Dergâhı Postnişini Sadreddin Çelebi Efendi'nin koordinasyonunda yürütülen çalışmalar sonucunda, dönemin ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte modern bir çarşı yaklaşık iki yıl içerisinde tamamlanmıştır. İmar faaliyetleri yalnızca çarşı ile sınırlı kalmamış; kanalizasyon sistemi inşa edilmiş, yolların önemli bir bölümü Arnavut kaldırımı ile döşenmiş ve şehir altyapısı önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Ayrıca halkın maddi katkılarıyla Kapu Camii 1872 yılında, Aziziye Camii ise 1875 yılında yeniden inşa edilmiş; 1884 yılında ise yine halktan toplanan yardımlarla bugünkü Hükûmet Konağı tamamlanmıştır [4]. Aziziye Camii ve Kapu Camii çevresi, Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yaklaşık son yirmi yıldır yürütülen restorasyon, sokak iyileştirmeleri ve çevre düzenleme çalışmaları sonucunda önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Tarihî dokunun özgün kimliğini korumaya yönelik gerçekleştirilen bu uygulamalar kapsamında yalnızca anıtsal yapılar değil, çevrede yer alan tescilli yapılar, çarşı dokusu ve kamusal alanlar da bütüncül bir koruma anlayışıyla yeniden düzenlenmiştir. Böylece 1867 Büyük Konya Çarşı Yangını sonrasında şekillenmeye başlayan tarihî kent dokusunun korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması yönünde önemli adımlar atılmıştır. Günümüzde Mevlâna Müzesi, Bedesten, Aziziye Camii ve Kapu Camii'ni kapsayan tarihî merkez, sahip olduğu kültürel ve mimari miras sayesinde yerli ve yabancı turistlerin en fazla ziyaret ettiği alanlardan biri hâline gelmiş; aynı zamanda Konya'nın inanç, kültür ve tarih turizminin odak noktalarından biri olarak öne çıkmıştır.

SONUÇ

1867 yılında meydana gelen Konya Büyük Çarşı Yangını, yalnızca çok sayıda dükkân, konut ve dinî yapının yok olmasına neden olan büyük bir afet değil, aynı zamanda Konya'nın kentsel gelişim sürecini etkileyen önemli bir tarihî kırılma noktası olmuştur. Yangının kısa sürede geniş bir alana yayılmasında ahşap yapılaşmanın yaygınlığı, dar sokak dokusu, yetersiz yangın söndürme imkânları, su altyapısının eksikliği ve şiddetli rüzgâr gibi fiziksel ve çevresel faktörlerin yanı sıra, halkın önemli bir kısmının olay sırasında şehir dışında bulunması gibi beşerî unsurlar da belirleyici olmuştur. Bu yönüyle yangın, afet risklerinin yalnızca doğal veya teknik nedenlerden değil, kentsel yapı ve toplumsal koşulların bir araya gelmesiyle oluştuğunu gösteren tarihî bir örnek niteliği taşımaktadır.

Yangının ardından yürütülen yeniden inşa faaliyetleri ise Konya'nın geleneksel şehir dokusunun daha planlı bir anlayışla yeniden şekillendirilmesine zemin hazırlamıştır. Çarşının ızgara plan anlayışına göre yeniden düzenlenmesi, yolların genişletilmesi, altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmesi ve kamu yapılarının yeniden inşa edilmesi, afet sonrasında gerçekleştirilen müdahalelerin yalnızca kayıpları telafi etmeye değil, aynı zamanda kentin fiziksel kapasitesini geliştirmeye yönelik olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle 1867 Konya Büyük Çarşı Yangını, afetlerin doğru planlama ve etkili kamu yönetimi anlayışıyla şehirlerin dönüşümü için bir fırsata da dönüşebileceğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde Aziziye Camii, Kapu Camii ve tarihî çarşı çevresinde gerçekleştirilen koruma ve restorasyon çalışmaları, yangın sonrasında şekillenen tarihî kent dokusunun yaşatılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu durum, kültürel mirasın korunmasının yalnızca geçmişin izlerini muhafaza etmekle sınırlı olmadığını, aynı zamanda şehirlerin tarihsel kimliğinin gelecek kuşaklara aktarılmasında da önemli bir işlev üstlendiğini göstermektedir. Sonuç olarak 1867 Konya Büyük Çarşı Yangını, afet yönetimi, kentsel planlama ve kültürel mirasın korunması perspektiflerinden birlikte değerlendirilmesi gereken; Konya'nın tarihsel gelişimini anlamada önemli veriler sunan ve günümüz şehirlerine afetlere dirençli kentleşme konusunda önemli dersler veren tarihî bir olay olma özelliğini sürdürmektedir.

KAYNAKÇA

[1] KÜÇÜKTIĞLI, A.T., ÖRSELLİ, E., "Türkiye'de Afet Politikaları ve Afet Yönetişimi: Sorunlar-Beklentiler-Öneriler", Özgür Yayınları, 2026

[2] UYSAL, M., Tarihsel Süreçte Geleneksel Konya Çarşısı İçin Bir Mekânsal Analiz, Milli Folklor Dergisi Yıl: 22, Sayı: 86, 2010

[3] ÖZGÜR, H., AZAKLI, S., Osmanlı'da Yangınlar ve İtfaiye Hizmetleri, Gazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 1/2001, 154, 2001

[4] DOĞAN, M., S., 1868 Konya Çarşı Yangını, https://meram.wordpress.com/2007/03/24/1868-konya-carsi-yangini/

[5] ARABACI, C., "Geçmişten Günümüze Konya Ticaret Odası 1882-1999", Konya Ticaret Odası, 1999

[6] MUŞMAL, H., 1867 Konya Çarşısı Yangını ve Etkileri Üzerine Bir İnceleme Denemesi, Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt: 32, No: 1, 2008

KISA ÖZGEÇMİŞ

Dr. Ahmet Tayfur KÜÇÜKTIĞLI

Tire doğumlu olan Küçüktığlı, Lisans eğitimini Süleyman Demirel Üniversitesi Kamu Yönetimi Bölümünde, Yüksek Lisansını yine aynı üniversitenin Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalında tamamlamıştır. Doktora eğitimini Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalında yapmıştır. 2006 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanlığında Uzman olarak göreve başlayan Küçüktığlı, 2017 yılından itibaren Necmettin Erbakan Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Küçüktığlı'nın akademik ilgi alanları şunlardır: İdare hukuku, afet yönetimi, stratejik planlama ve bütçe. Küçüktığlı'nın bu konulara dair çeşitli yayınları ve çalışmaları bulunmaktadır.

Ali GİRAY

Ermenek doğumlu olan Giray, Ön lisans Eğitimini 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Yeniköy Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Kalıpçılık Bölümünde, Lisans eğitimini 2007 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünde tamamlamış, 2016 Yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme bölümünden mezun olmuştur. Yüksek Lisansını Karatay Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalında yapmıştır. 2019 Yılında itibaren Necmettin Erbakan Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Giray'ın akademik ilgili alanları şunlardır: Yangın, risk değerlendirmeleri ve meslek hastalıkları. Giray'ın bu konularda çeşitli yayınları ve çalışmaları bulunmaktadır.

YANGIN SONRASI BETONARME YAPILARIN HASAR TESPİTİNE İLİŞKİN YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Nefise AKDAĞ
Uğur DEMİR

ÖZET

Yapısal yangınlar, yol açtıkları can kayıpları ve ekonomik zararlar nedeniyle binaların güvenliği açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, yangın sonrası yapı güvenliğinin hızlı ve doğru biçimde değerlendirilmesi; can güvenliğinin sağlanması, kullanım kararlarının verilmesi ve gerekli müdahale stratejilerinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'deki yangın sonrası hasar derecelendirme yaklaşımı, uluslararası rehberlerde yer alan değerlendirme yaklaşımlarıyla karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Seçilen dokümanlar; değerlendirme düzeyi, hasar göstergeleri, önerilen inceleme ve test yöntemleri, hasar sınıflandırması, karar çıktıları ve onarım yönlendirmeleri açısından oluşturulan karşılaştırmalı değerlendirme çerçevesi üzerinden incelenmiştir. İnceleme sonucunda, Türkiye'deki yaklaşımın afet sonrası hızlı ve gözlemsel saha kararları açısından işlevsel olduğu; bununla birlikte puanlama sürecinde dikkate aldığı bazı parametrelerin mevcut uluslararası literatürle uyumsuz mertebelerde olduğu, uluslararası rehberlerin ayrıca tahribatsız testler, artık performansın belirlenmesi ve onarım-güçlendirme kararları bakımından daha ayrıntılı bir mühendislik çerçevesi sunduğu görülmüştür. Bu bağlamda sunulan bu çalışma, Türkiye'de yangın sonrası hasar tespit yönetmeliğinin eksikliklerinin altını çizerek gelecek akademik çalışmalara ve daha kapsamlı yeni yönetmeliklerin hazırlanmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Anahtar sözcükler: betonarme, hasar tespit, yangın, yapısal güvenlik, yönetmelik

COMPARISON OF REGULATIONS FOR THE POST-FIRE DAMAGE ASSESSMENT OF RC STRUCTURES

ABSTRACT

Structural fires pose a major risk to the built environment because of their potential to cause loss of life and substantial economic damage. Therefore, the rapid and accurate assessment of post-fire structural safety is essential for protecting occupants, determining whether a building can remain in use, and selecting appropriate intervention strategies. This study comparatively examines the Turkish post-fire damage classification approach and the assessment procedures provided in other international guidelines. The selected documents were evaluated using a comparative framework covering the level of assessment, damage indicators, recommended inspection and testing methods, damage classifications, and decision outcomes. The findings indicate that the Turkish approach is functional for rapid, observation-based field decisions in the aftermath of a disaster; however, some of the parameters considered in its scoring process deviate from levels consistent with the current international literature, and international guidelines additionally offer a more detailed engineering framework in terms of non-destructive testing, the determination of residual performance, and repair-strengthening decisions. By identifying the limitations of the current Turkish post-fire damage assessment guideline, this study aims to support future research and contribute to the development of more comprehensive national guidelines.

Key words: damage assessment, fire, guideline, reinforced concrete, structural safety

1. GİRİŞ

Yangınlar hem yarattığı can kayıpları hem de sebep olduğu ekonomik zararlar açısından binalar için servis ömürleri boyunca en büyük risklerden birini oluşturmaktadır. Öyle ki, Uluslararası Yangın ve Kurtarma Servisleri Birliği (CTIF) tarafından yayımlanan rapora göre, 2022 yılında 55 ülkede kaydedilen yangınların yaklaşık %30'unu yapısal yangınlar oluşturmaktadır. Raporda yangın kaynaklı can kayıplarının %87'sinin ve yaralanmaların %83'ünün binalarda meydana gelen yangınlardan kaynaklandığının da ayrıca altı çizilmiştir [1]. Türkiye'de yangın verilerine bakıldığında, 2022 yılında İstanbul'da yüz bin kişiye 141 yangın düştüğü ve meydana gelen yangınların yaklaşık %52'sinin yapısal yangın olduğu görülmektedir [2]. Bir diğer büyük şehir İzmir'de ise 2023 yılında kaydedilen 12.986 yangında 25 kişi hayatını kaybetmiş, 264 kişi yaralanmış ve yaklaşık 5 milyar TL maddi zarar meydana gelmiştir [3]. Ek olarak, Ocak 2025'te Bolu'da bir otelde meydana gelen ve 78 kişinin yaşamını yitirdiği yangın da yapısal yangınların ağır sonuçlarını gösteren güncel örneklerden biridir. Bu istatistikler ve yaşanan olaylar, yapısal yangınların toplumsal ve ekonomik etkilerini ortaya koymaktadır.

Yapısal yangınlar taşıyıcı sistemlerde doğrudan göçme riski oluşturmakla beraber, genellikle yüksek sıcaklığın neden olduğu kalıcı dayanım ve rijitlik kayıplarıyla yapı güvenliğini tehdit eden bir unsur olarak ele alınır. Yangın hasarı nedeniyle betonarme bir yapının tamamen yıkılması nadiren karşılaşılan bir durumdur [4]. Yüksek sıcaklık etkisi altında malzeme özelliklerinin bozulması, kesit içinde oluşan sıcaklık gradyanları, ısıl genleşmenin kısıtlanması ve yüklerin sistem içinde yeniden dağılması; elemanlarda dayanım kaybına ve aşırı deformasyonlara neden olabilmektedir [5]. Daha özele inildiğinde, betonarme yapılarda betonun çatlaması ve dökülmesi, donatının yüksek sıcaklığa maruz kalması ve beton-donatı aderansının zayıflaması, yangın sonrasındaki artık taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen başlıca mekanizmalardır [6]. Tüm bu hasarlara rağmen, genellikle hasarın yayılımına ve şiddetine bağlı olarak birçok yapının onarım veya güçlendirme yoluyla yangın sonrasında yeniden kullanılması mümkün olabilmektedir. Yangın hasarlı yapıların güvenli biçimde onarılarak hizmete döndürülmesi, mevcut yapı stokunun korunması ve yıkım-yeniden yapım kaynaklı malzeme ve atık miktarının azaltılması açısından da önem taşımaktadır [7]. Bu bağlamda yangın sonrası hasar değerlendirme sürecinin güvenilirliği kritik hale gelmektedir. Yangına maruz kalan bir yapının yeniden kullanılabilirliği, onarım ve güçlendirme gereksinimi, kısmi yıkım ihtiyacı ya da kullanım dışı bırakılması gibi mühim kararlar; görsel hasar incelemeleri, malzeme özelliklerindeki bozulma, sıcaklık geçmişi, çatlak ve dökülme durumu, donatı hasarı ve artık taşıma kapasitesi ile birlikte değerlendirilerek verilmelidir [8]. Yalnızca yüzey görünümüne dayanan kararlar, iç bölgelerde korunmuş kapasitenin gözden kaçırılması nedeniyle gereksiz yıkıma ya da görünür hasarı sınırlı olmakla birlikte iç yapısı ciddi biçimde bozulmuş elemanların güvensiz biçimde kullanılmasına yol açabilir. Bu nedenle yangın sonrası kararların, görünür hasar ve artık yapısal performans arasındaki nesnel verilerle desteklenmiş ilişkiye dayandırılması gerekir [9]. Öte yandan, uluslararası pek çok yangın sonrası hasar tespiti yönergeleri; ön bilgi toplama, güvenlik kontrolü, görsel inceleme, deneysel araştırmalar ve yapısal değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Bu yönergelere göre, yangının süresi, sıcaklık düzeyi, söndürme ve soğuma koşulları belirlendikten sonra yapının genel durumu ve acil göçme riski incelenir. Renk değişimi, çatlak, beton dökülmesi, donatı açığa çıkması ve kalıcı deformasyonlar eleman bazında incelenir ve haritalanır. Tahribatsız (*non-destructive*) yöntemler ile malzeme değişimleri ve iç hasarlar araştırılırken, bazı durumlarda daha güvenilir veya detaylı sonuçlar elde etmek amacıyla tahribatlı (*destructive*) yöntemlere başvurulur. Elde edilen veriler eleman ve sistem düzeyindeki hesaplara aktarılarak uygun müdahale kararı oluşturulur.

Türkiye'de mevcut yangın sonrası hasar tespit yöntemi, Afetler Sonrası Bina Hasar Tespiti Yapılmasına İlişkin Genel Kurallar Hakkında Yönetmelik adıyla 2025 yılında Resmi Gazete'de yayımlanmıştır [10]. Betonarme ve yığma yapılar için ayrı değerlendirme tabloları içeren bu yönetmelik, göçme veya kısmi göçme durumu, yangın süresi, tahmini sıcaklık, beton rengindeki değişim, çatlak genişliği, beton örtüsü dökülmesi, donatıdaki şekil değiştirmeler ve etkilenen eleman veya kat oranı gibi göstergeler üzerinden hızlı bir hasar sınıflandırması üretmektedir. Uluslararası yangın sonrası değerlendirme uygulamalarında Avrupa'da

yaygın olarak kullanılan fib Bulletin 46 [8] ile Birleşik Krallık'ta kullanılan Concrete Society 68 [11] öne çıkmaktadır. Her iki doküman da görsel incelemeyi başlangıç aşaması olarak kabul etmekte; renk değişimi, çatlak, dökülme, donatı açığa çıkması ve kalıcı deformasyon gibi bulguları tahribatsız deneyler, karot ve laboratuvar incelemeleriyle destekleyerek beton ve donatının artık özelliklerinin belirlenmesini önermektedir. Görsel hasar incelemelerini yerinde ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen tahribatlı ve tahribatsız deneylerle destekleyen benzer bir yaklaşım Japonya'da *Architectural Institute of Japan* önergesi doğrultusunda uygulanmaktadır [12]. AIJ yöntemi, ön bilgi toplama ve görsel incelemeden sonra gerekli durumlarda karot, donatı numunesi, malzeme analizi ve yapısal hesaplara geçmekte; eleman hasarını ve bina genel durumunu ayrı ayrı sınıflandırarak yerel hasar ile sistem güvenliği arasında ilişki kurmaktadır. Güney Kore'de ise betonarme yapıların yangın sonrası hasar tespiti için Korea Concrete Institute tarafından yayımlanan teknik kılavuz kullanılmaktadır [13]. Bu yaklaşım da görsel bulgularla başlayan ve deneysel incelemelerle ayrıntılandırılan bir süreç izlemekte; eleman ve bina ölçeğinde ayrı hasar sınıfları tanımlayarak yeniden kullanım, onarım veya güçlendirme kararlarına temel oluşturmaktadır. Ayrıca yangın sonrası güçlendirme çalışmalarına yönelik olarak Architectural Institute of Korea tarafından ayrı bir teknik yönerge de bulunmaktadır [14]. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yangın sonrası hasar tespiti için şart koşulan tek bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu kapsamda, National Codes and Standards Council of the Concrete and Masonry Industries tarafından yayımlanan *Assessing the Condition and Repair Alternatives of Fire-Exposed Concrete and Masonry Members* başlıklı rapor, yangına maruz kalmış beton ve yığma elemanların mevcut durumunun değerlendirilmesi ve uygun onarım seçeneklerinin belirlenmesi için teknik bir başvuru kaynağı sunmakta; ancak ulusal ölçekte bağlayıcı bir hasar derecelendirme sistemi oluşturmamaktadır [15]. FEMA'nın *Post-disaster Building Safety Evaluation Guidance* dokümanında da yangın hasarına yönelik yerleşik bir uygulama kılavuzunun bulunmadığı belirtilmekte ve geçici olarak ATC-20-1 [16] prosedürlerinden yararlanılması önerilmektedir. Esasen deprem sonrası bina güvenliğinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen ATC-20-1, yapısal elemanlardaki termal hasarları göz ardı ederek hızlı ve ayrıntılı görsel incelemelerle yapıları görünür mekanik hasarlara göre sınıflandırır. Massachusetts Ulaştırma Dairesi tarafından desteklenen ve University of Massachusetts Amherst tarafından hazırlanan 2021 tarihli raporda [17] ise hızlı ilk inceleme için görsel yöntemler ile tahribatsız deneylerin birlikte kullanıldığı, belirsiz veya ileri düzeydeki hasarlarda laboratuvar deneyleri ve ayrıntılı mühendislik değerlendirmesine geçildiği kademeli bir yaklaşım önerilmektedir. Bununla birlikte söz konusu doküman bir araştırma raporu ve taslak kontrol listesi niteliğinde olup standart, teknik şartname veya mevzuat hükmü oluşturmamaktadır.

Sunulan bu çalışmada Türkiye'de kullanılan mevcut ulusal yaklaşım, Concrete Society 68 [11] ve fib Bulletin 46 [8] dokümanlarında sunulan yangın sonrası değerlendirme yaklaşımlarıyla karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma betonarme yapılar için önerilen ön güvenlik ve yapısal durum kontrolü, kullanılan hasar göstergeleri, yerinde ve laboratuvar deneyleri, hasar sınıflandırması, artık taşıma kapasitesiyle ilişkilendirme, karar çıktıları ve onarım-güçlendirme yönlendirmeleri temelinde gerçekleştirilmektedir. Böylece Türkiye'deki yöntemin uluslararası standartlara göre olası eksikliklerinin ya da olumlu yönlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu çalışma betonarme yapılar özelinde geliştirilecek yeni yangın sonrası hasar tespit yönergelerine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

2. YANGIN SONRASI HASAR DEĞERLENDİRMESİNİN TEMEL İLKELERİ

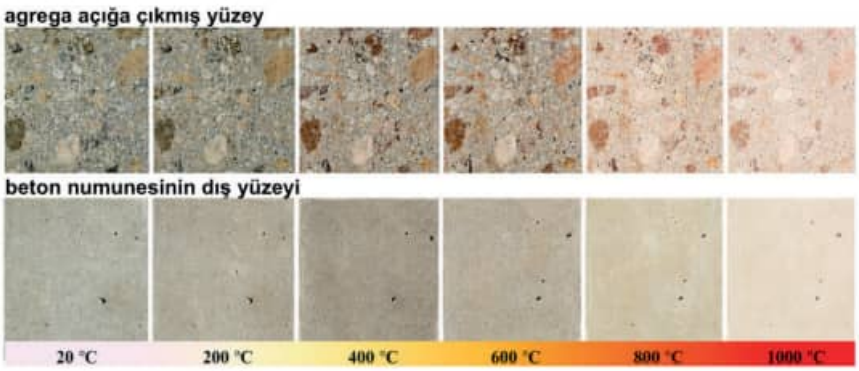
Yangın sonrası bir betonarme yapıda gözlenen hasar, yangının termal etkisi ile malzeme ve taşıyıcı sistemin buna verdiği mekanik tepkinin ortak sonucudur. Bu nedenle hasar değerlendirme yöntemlerinin dayandığı ölçütlerin doğru yorumlanabilmesi için, yüksek sıcaklığın beton, donatı ve beton-donatı etkileşimi üzerindeki temel etkilerinin açıklanması gerekir. Şekil 1'de yangın sonrası hasar tespit yöntemlerinin genel prosedürleri özetlenmiştir.



Şekil 1. Yangın sonrası hasar tespit yöntemlerinin genel prosedürü.

Türkiye'de betonarme yapıların kullanımı 1902 yılında başlamış ve zamanla birincil yapı üretim tekniği konumuna gelmiştir [18]. İstanbul ve İzmir gibi büyük illerde gerçekleştirilen bina envanter çalışmaları kentlerdeki yapıların çoğunluğunun betonarme yapılardan oluştuğunun altını çizmiştir [19-20]. Benzer durumun kırsal kesimler hariç ülkemiz genelinde de hâkim olduğu düşünüldüğünde, nüfusumuzun büyük bir bölümünün betonarme yapılarda ikamet etmekte olduğu kolaylıkla söylenebilir. Betonarme binaların yoğunluğu yangın verileriyle ilişkilendirilecek olursa, İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığının 2023, 2024 ve 2025 verilerine göre yapısal yangınların en az %80'lik bölümü betonarme yapılarda meydana gelmiştir [3, 21-22]. Bu ve benzer istatistikler, ülkemizde yapısal yangın risklerinin azaltılması noktasında özellikle betonarme yapılarla ilgili çalışmaları öncelikli kılmaktadır.

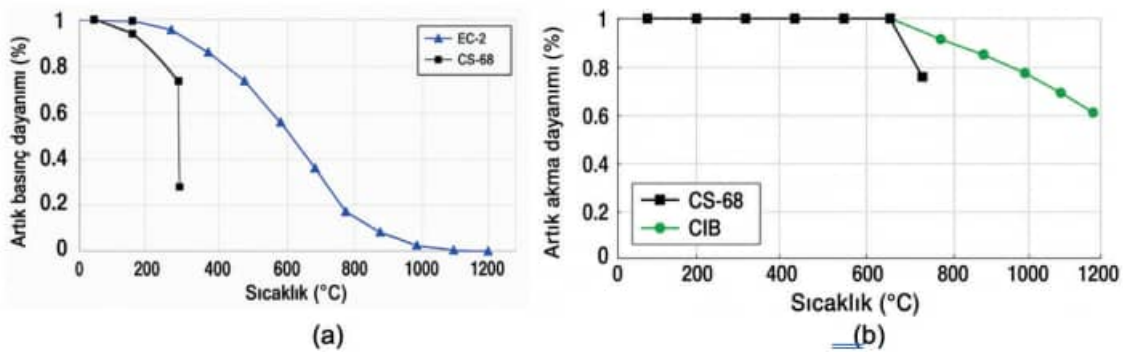
Betonarme yapılarda yangın hasarının düzeyi; yangının şiddeti, süresi, ulaşılan sıcaklık seviyesi, soğuma koşulları ve elemanların yangına maruz kalma biçimi ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklık etkisiyle betonun fiziksel ve kimyasal yapısında değişimler meydana gelmekte; buna bağlı olarak basınç dayanımı, elastisite modülü ve beton-donatı aderansı olumsuz etkilenmektedir. Şekil 2'de yüksek sıcaklık etkisiyle betonun renginde gözlemlenen değişim gösterilmiştir. Donatı çeliğinde de sıcaklık seviyesine bağlı olarak akma dayanımı, süneklik ve mekanik özelliklerde bozulmalar oluşabilmektedir [6]. Bu nedenle yangın sonrası değerlendirmede renk değişimi, çatlak gelişimi, yüzey dökülmesi, beton örtüsü kaybı, donatı şekil değiştirmesi, kalıcı deformasyonlar ve artık taşıma kapasitesi birlikte ele alınması gerekmektedir. Beton yüzeyindeki renk değişimi, yangın sırasında ulaşılan yaklaşık sıcaklık düzeyinin ve malzeme bünyesindeki fiziksel-kimyasal dönüşümlerin değerlendirilmesinde yararlanılan görsel göstergelerden biridir. Özellikle pembe veya kırmızı tonların gelişmesi ve daha yüksek sıcaklıklarda açık gri-beyaz renklerin görülmesi, ön hasar haritalamasında sıcaklık bölgelerinin ayrıştırılmasına yardımcı olabilmektedir. Bununla birlikte renk değişimi; agrega türü, çimento bileşimi, yüzey kirliliği, maruz kalma süresi, aydınlatma koşulları ve soğuma biçiminden etkilendiği için tek başına kesin sıcaklık veya hasar ölçütü olarak kullanılmamalıdır [23].



Şekil 2. Isıtılan yüksek dayanımlı betonun renk değişimi: agrega tanelerinin açığa çıktığı yüzey ve beton numunesinin dış yüzeyi [23].

Donatı çeliği, beton örtüsünün ısıl yalıtım etkisi nedeniyle yangının başlangıç evrelerinde betona kıyasla daha yavaş ısınabilmektedir. Beton örtüsünün dökülmesi veya pas payının sınırlı olması durumunda donatı sıcaklığı hızla artmakta; elastisite modülü, akma ve çekme dayanımı ile deformasyon özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Yangın sonrasındaki artık özellikler, ulaşılan en yüksek sıcaklık kadar çeliğin üretim türüne, yüksek sıcaklıkta kalma süresine ve soğuma rejimine de bağlıdır. Ayrıca betonun çatlaması, örtünün ayrılması ve donatı çevresindeki ara yüzeyin bozulması, aderans dayanımını azaltarak ankraj ve bindirme bölgelerinde erken kapasite kaybına yol açabilmektedir [6,8].

Beton ve donatı çeliğinin yangın sonrasındaki mekanik özellikleri farklı eğilimler göstermektedir. Betonun basınç dayanımı ve özellikle elastisite modülü sıcaklık etkisiyle belirgin ve kalıcı biçimde azalırken, donatı çeliğinin artık akma dayanımı belirli sıcaklık düzeylerine kadar büyük ölçüde korunabilmekte, daha yüksek sıcaklıklarda ise hızla düşmektedir. Şekil 3'te verilen eğriler, betonun artık basınç dayanımına ilişkin yaklaşımlar arasında önemli farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Concrete Society 68 [11], soğuma sonrasında devam edebilen dayanım kaybını dikkate aldığı için Eurocode 2 [24]'nin 500 °C izoterm yaklaşımına göre daha ihtiyatlı sonuçlar vermektedir. Donatı çeliği için Concrete Society 68 [11] ve CIB [25] tarafından önerilen artık akma dayanımı eğrileri ise donatılardaki mekanik özelliklerin değişimin 600 C°'den sonra bozulmaya başladığını göstermektedir.



Şekil 3. Yangın sonrası soğuma ile birlikte oluşan değişimler: a) betonun dayanımı ve b) donatı çeliğinin akma dayanımı [26].

Yangın sonrası yapının onarım/güçlendirme yoluyla yeniden kullanıma kazandırılıp kazandırılamayacağı kararının güvenilir biçimde verilebilmesi, yapıda meydana gelen hasarın doğru haritalanmasına ve taşıyıcı sistemin mevcut durumunun nesnel olarak doğru değerlendirilebilmesine bağlıdır [27]. Bu değerlendirme sürecinde hesaplamalı yöntemler, hasar tespitini yapacak olan mühendislerce yardımcı araçlar olarak kullanılabilmektedir.

3. YANGIN SONRASI HASAR DERECELENDİRME YÖNTEMLERİ

3.1 Türkiye'de Yangın Sonrası Hasar Derecelendirme

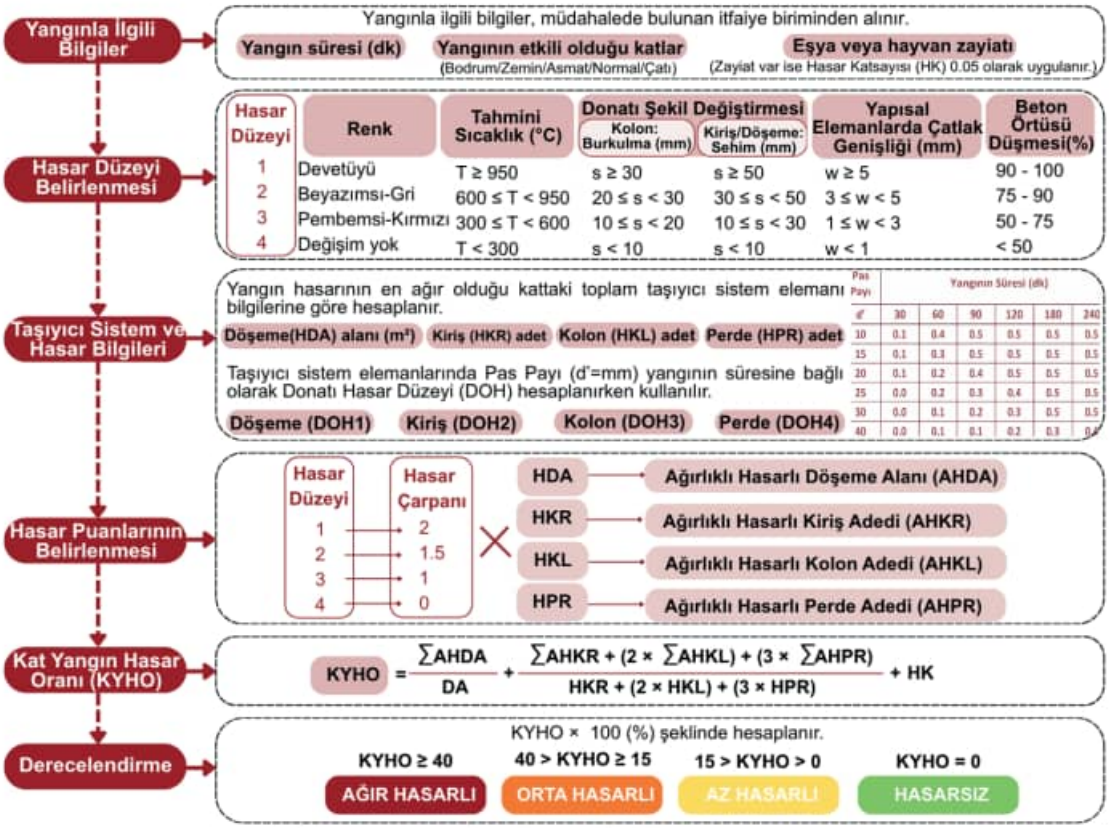
Türkiye'de yangın sonrası bina hasar tespiti, Haziran 2025'te yayımlanan Afetler Sonrası Bina Hasar Tespiti Yapılmasına İlişkin Genel Kurallar Hakkında Yönetmelik kapsamında yürütülmektedir. Yönetmeliğin EK-3 bölümünde yer alan Yangın Afeti Sonrası Bina Hasar Derecelendirme Yöntemi [10], yangından etkilenen yapıların saha koşullarında hızlı ve sistematik biçimde sınıflandırılmasına yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Yöntem, ilk olarak 2011 yılında AFAD tarafından sunulan çerçeveyi halen korumaktadır. Bu çerçevede, AFAD tarafından 2011 hazırlanan formlar aracılığıyla betonarme ve yığma yapılarda deprem, yangın ve sel etkileri sonrası hasar tespiti yapılmasına olanak sağlanmış, zaman içerisinde yaşanan teknik gelişmeler ve depremler sonrasında edinilen tecrübeler ışığında deprem sonrası hasar tespit yöntemi bilimsel veriler

ışığında yeniden gözden geçirilip güncellenmiş, fakat yangın ve sel sonrası hasar tespiti için bu güncelleme henüz gerçekleştirilmemiştir. Haziran 2025 yönetmeliği ile birlikte önemli bir değişikliğe uğramadan halen bu yöntem sahada kullanılmaktadır.

Ülkemizde mevzuatta yürürlükte olan yöntemin akış şeması Şekil 4'te sunulmuştur. Bu şekilde görüldüğü üzere, değerlendirme süreci hasar tespit ekiplerinin, itfaiye birimleriyle koordinasyon içinde yangının yaklaşık süresi, etkilediği katlar ve yangının yayılımı gibi ön bilgileri edinmesiyle başlamaktadır. Ardından taşıyıcı sistem türü belirlenmekte ve yapılar betonarme veya yığma olarak ayrı yönergelerle değerlendirilmektedir. Betonarme binalar ile yangının meydana geldiği katı betonarme olan karma yapılar, betonarme binalar için tanımlanan yönteme göre incelenmektedir. Yönetmelikte çelik, ahşap veya diğer yapısal sistemlere dair bir yönlendirme bulunmamaktadır. Burada önemli bir hatırlatma, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik [28] içerisinde bu tür yapılara ilişkin oldukça yüzeysel olmak kaydıyla bazı bilgiler sunulmuş olması, bunun mevzuatta birbiriyle çelişkili uygulamalara yol açma riski barındırmasıdır. İlk aşamada taşıyıcı elemanlarda göçme, kısmi göçme veya yangına bağlı belirgin kat ötelenmesi bulunup bulunmadığı kontrol edilmektedir. Dayanım kaybı gözlenen yapılar, hasarın niteliğine göre ağır hasarlı veya acil yıktırılacak yapı olarak değerlendirilmektedir.

Değerlendirmenin ikinci aşamasında, göçme bulunmayan betonarme yapılar için yangının süresi ve ulaştığı tahmini sıcaklıkla birlikte taşıyıcı elemanlardaki renk değişimleri, çatlak genişlikleri, beton örtüsündeki dökülmeler ve donatılarda meydana gelen şekildeğiştirmeler incelenmektedir. Bu parametreler doğrultusunda görsel olarak incelenen her bir taşıyıcı sistem elemanı dört farklı hasar düzeyinden biriyle sınıflandırılmaktadır. Hasar Düzeyi 1 en ağır, Hasar Düzeyi 4 ise en düşük hasarı temsil etmektedir. Örneğin deve tüyü renginin oluşması, sıcaklığın 950 °C ve üzerine çıkması, büyük donatı deformasyonları, geniş yapısal çatlaklar ve yüksek beton örtüsü kaybı en ağır hasar düzeyine işaret ederken; renk değişiminin bulunmaması, sıcaklığın 300 °C'nin altında kalması ve sınırlı çatlak veya deformasyonlar Hasar Düzeyi 4 kapsamında değerlendirilmektedir. Görsel sınıflandırmanın ardından, yangın hasarının en ağır olduğu kat esas alınarak taşıyıcı sistem bilgileri belirlenmektedir. Bu kapsamda kattaki toplam döşeme alanı ile kiriş, kolon ve perde adetleri kaydedilmekte; her hasar düzeyinde bulunan döşeme alanları ve taşıyıcı eleman sayıları ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Ayrıca taşıyıcı elemanlardaki beton örtüsü kalınlığı ile yangının süresine bağlı olarak yönetmelikte verilen katsayılardan yararlanılmakta ve döşeme, kiriş, kolon ve perdeler için donatı hasar düzeyleri (DOH) oluşturulmaktadır. Böylece yalnızca tek tek elemanların hasar düzeyi değil, hasarlı elemanların kat içerisindeki toplam taşıyıcı sisteme oranı da değerlendirmeye dâhil edilmektedir.

Sonraki aşamada görsel incelemeyle belirlenen hasar düzeyleri sayısal değerlere dönüştürülmektedir. Hasar Düzeyi 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla 2,0; 1,5; 1,0 ve 0 hasar çarpanları kullanılmaktadır. Bu çarpanlar, ilgili hasar düzeyindeki döşeme alanı veya taşıyıcı eleman adediyle çarpılarak Ağırlıklı Hasarlı Döşeme Alanı (AHDA), Ağırlıklı Hasarlı Kiriş Adedi (AHKR), Ağırlıklı Hasarlı Kolon Adedi (AHKL) ve Ağırlıklı Hasarlı Perde Adedi (AHPR) elde edilmektedir. Katın genel hasar düzeyi belirlenirken döşemeler alan üzerinden, kiriş, kolon ve perdeler ise eleman sayıları üzerinden hesaba katılmaktadır. Taşıyıcı sistem içindeki göreli önemleri nedeniyle kirişler 1, kolonlar 2 ve perdeler 3 katsayısıyla ağırlıklandırılmaktadır. Bu değerler toplam döşeme alanı ve toplam taşıyıcı eleman sayılarıyla oranlanmakta, varsa can kaybı katsayısı eklenmekte ve sonuç yüzdeye çevrilerek Kat Yangın Hasar Oranı (KYHO) hesaplanmaktadır. Hesaplanan KYHO değerine göre yangının gerçekleştiği katın hasar derecesi belirlenmektedir. KYHO≥40 olması durumunda yapı ağır hasarlı, 15≤KYHO<40 olması durumunda orta hasarlı, 0<KYHO<15 olması durumunda az hasarlı ve KYHO=0 olması durumunda hasarsız olarak sınıflandırılmaktadır. Böylece yöntem, görsel incelemede elde edilen eleman bazındaki bulguları; hasarlı alan ve eleman oranları, yangın süresi, pas payı, eleman türü ve can kaybı gibi değişkenlerle birlikte sayısal bir kat hasar oranına dönüştürerek nihai hasar derecesine ulaşmaktadır.



Şekil 4. Yangın sonrası bina hasar değerlendirme akış şeması.

Şekil 4. Yangın sonrası bina hasar değerlendirme akış şeması.

3.2 Concrete Society 68

Concrete Society tarafından yayımlanan Technical Report 68 [11], yangın hasarlı betonarme yapıların incelenmesi, hasarın sınıflandırılması ve uygun müdahale yönteminin belirlenmesine yönelik Avrupa'da yaygın kullanılan bir yaklaşım sunmaktadır. Süreç, öncelikle yapıya güvenli erişimin sağlanması ve genel durumunun kontrol edilmesiyle başlamaktadır. Ardından yapılan incelemelerde renk değişimi, çatlak, beton dökülmesi, donatının açığa çıkması, kalıcı sehim ve şekil değiştirmeler gibi görünür hasarlar kaydedilmekte; görsel inceleme, çekiçle ses kontrolü ve gerektiğinde sınırlı yüzey açmalarıyla hasarlı bölgeler haritalanmaktadır. Yalnızca kozmetik veya çok hafif hasar belirlenmesi durumunda temizlik, yeniden boyama ve yüzeysel onarım gibi müdahaleler yeterli kabul edilebilmektedir.

Daha ileri düzeyde hasar bulunması hâlinde değerlendirme, yerinde ve laboratuvar deneyleriyle ayrıntılandırılmaktadır. Yerinde incelemelerde görsel değerlendirme ve çekiçle ses kontrolünün yanı sıra Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı (UPV) ve lokal beton açma işlemleri kullanılabilmektedir. Laboratuvar incelemeleri ise karot basınç deneyleri, petrografik analizler, termolüminesans incelemeleri ve donatı numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyleri kapsamaktadır. Bu yöntemlerle hasarın yatay ve kesit derinliği boyunca yayılımı, betonun artık dayanımı ve donatı çeliğinin mevcut mekanik özellikleri belirlenmektedir. Concrete Society 68 [11]'de yangın hasarlı betonun değerlendirilmesi için birbiriyle tamamlayıcı iki temel yaklaşım tanımlanmaktadır. İlk yaklaşım, yangından etkilenen betonun doğrudan incelenmesine dayanmakta; görsel inceleme, tahribatsız deneyler, karot alma ve laboratuvar testleri aracılığıyla mevcut malzeme özellikleri belirlenmektedir. İkinci yaklaşımda ise öncelikle yangının şiddeti değerlendirilmekte, ardından eleman kesitleri içerisindeki sıcaklık profilleri tahmin edilmekte ve bu sıcaklık dağılımına bağlı olarak betonun artık dayanımı hesaplanmaktadır. Yangının şiddeti; yangın geçmişi, itfaiye ve tanık bilgileri, fotoğraf veya video kayıtları, yangın yükü ve yangın sonrasında kalan malzemeler üzerinden değerlendirilebilmekte; gerekli durumlarda ısı transferi veya yangın modellemelerinden yararlanılmaktadır. Hesaplanan sıcaklık profilleri

ve artık dayanım değerleri, mümkün olduğunca deneysel bulgularla doğrulanmaktadır.

Elde edilen inceleme bulguları doğrultusunda betonarme elemanlar, görsel hasarın niteliği ve şiddetine göre Sınıf 0 ile Sınıf 4 arasında sınıflandırılmaktadır. Sınıf 0, yangından etkilenmeyen veya ihmal edilebilir düzeyde bulgu bulunan elemanları; Sınıf 1, sıva ve kaplamada yerel kayıplar ile sınırlı yüzey çatlaklarının gözlendiği hafif hasarı; Sınıf 2, renk değişimi, orta düzey çatlama, yerel beton dökülmesi ve sınırlı donatı açığa çıkmasının bulunduğu hasarı ifade etmektedir. Sınıf 3'te yaygın çatlama, belirgin beton dökülmesi, donatının daha geniş ölçüde açığa çıkması ve sınırlı deformasyonlar görülürken; Sınıf 4, beton örtüsünün büyük ölçüde kaybolduğu, birden fazla donatıda burkulma, aderans kaybı, büyük çatlaklar ve belirgin deformasyonların bulunduğu en ağır görsel hasar düzeyini temsil etmektedir. Beton yüzeyindeki renk değişimi ve dökülme ile donatının açığa çıkması, burkulması ve eleman deformasyonlarını birlikte ele alan bu sınıflandırmanın ölçütleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Bununla birlikte, görsel hasar sınıfı tek başına elemanın artık taşıma kapasitesini veya uygulanacak müdahale yöntemini belirlememektedir. Özellikle Sınıf 2, 3 ve 4 olarak değerlendirilen elemanlarda hasarın kesit içindeki derinliği, beton ve donatının artık mekanik özellikleri, kalıcı deformasyonlar ve elemanın artık taşıma kapasitesi yerinde ve laboratuvar deneyleriyle araştırılmaktadır. Onarım, güçlendirme, elemanın yenilenmesi veya yıkım kararları, bu ayrıntılı mühendislik değerlendirmesinin sonuçlarına göre verilmektedir. Hasar sınıfına bağlı olarak dekorasyon ve temizlikten yüzeysel veya genel onarıma, taşıyıcı güçlendirmeden elemanın yeniden yapılmasına ya da yapının yıkılmasına kadar farklı müdahale seçenekleri tanımlanmaktadır. Onarım ve güçlendirmenin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir olması durumunda müdahale projesi hazırlanmakta; uygun bulunmadığı durumlarda ise yıkım veya yeniden yapım seçeneği değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Concrete Society 68 [11]'e göre betonarme elemanlar için görsel hasar sınıflandırması.

Hasar Sınıfı	Hasar Niteliği	Beton yüzeyindeki bulgular	Taşıyıcı sistem bulguları
0	Hasarsız	Yangından etkilenmemiştir veya yangının etki alanı dışındadır.	Yapısal hasar yoktur.
1	Az Hasarlı	Sıva/kaplamada yerel soyulma, normal beton rengi, hafif kılcal çatlama ve sınırlı yüzey dökülmesi görülür.	Donatı genellikle açığa çıkmamıştır; kirişlerde çok sınırlı donatı açığa çıkması olabilir. Çatlak, sehim veya şekil bozukluğu yoktur.
2	Orta Düzey Hasarlı	Sıva/kaplamada önemli kayıp, pembe-kırmızı renk değişimi, orta düzey çatlama ve yerel beton dökülmeleri görülür.	Kolon ve kirişlerde donatının yaklaşık %25'ine, duvar ve döşemelerde %10'una kadar olan kısmı açığa çıkabilir. Donatıda burkulma, belirgin çatlak veya deformasyon yoktur.
3	İleri Düzey Hasarlı	Kaplama tamamen kaybolmuş; beton pembe-kırmızı veya beyazımsı gri renge dönüşmüş; yaygın çatlama ve belirgin dökülme oluşmuştur.	Kolon ve kirişlerde donatının %50'sine kadar olan kısmı açığa çıkabilir ve en fazla bir donatı çubuğunda burkulma görülebilir. Duvar ve döşemelerde donatı açığa çıkması yaklaşık %20 düzeyindedir. Küçük çatlaklar ve sınırlı deformasyonlar görülebilir.
4	Ağır Hasarlı	Kaplama tahrip olmuş, beton yüzeyi beyazımsı gri renge dönüşmüş ve yüzeyin büyük bölümü dökülmüştür.	Kolon ve kirişlerde donatının %50'den fazlası açığa çıkmış ve birden fazla donatı burkulmuştur. Duvar ve döşemelerde donatının %20'den fazlası açığa çıkmış, beton ile aderans önemli ölçüde kaybolmuştur. Büyük çatlaklar ve belirgin deformasyonlar vardır.

Notlar: *Pembe-kırmızı renk değişimi agregadaki demir bileşenlerinin oksidasyonuyla; beyazımsı gri renk değişimi ise çimento hamuru ve kalkerli bileşenlerin kalsinasyonuyla ilişkilidir. Kiriş ve kolonlarda ana donatının, aksi yönde bilgi bulunmadıkça, kesit köşelerinde yer aldığı kabul edilir.*

3.3 fib Bulletin 46

fib Bulletin 46 [8], yangın hasarlı betonarme yapıların değerlendirilmesini; güvenlik kontrolü, veri toplama, görsel inceleme, malzeme araştırmaları, yapısal performans değerlendirmesi, hasar sınıflandırması ve müdahale kararı aşamalarından oluşan bir süreç olarak ele almaktadır. Değerlendirme, öncelikle olay yerine güvenli erişimin sağlanması ve yapının genel durumunun görsel olarak kontrol edilmesiyle başlamaktadır. Elektrik, gaz ve benzeri ikincil tehlikeler değerlendirilmekte; gerekli durumlarda geçici destekleme, tahliye veya erişim kısıtlaması gibi önlemler uygulanmaktadır.

Güvenliğin sağlanmasının ardından yangının çıkış nedeni, gelişimi ve yaklaşık süresi; yangın yükü, söndürme faaliyetleri, kullanılan su miktarı, itfaiye raporları, tanık ifadeleri, fotoğraflar ve yapının yangın öncesindeki durumu hakkında bilgi toplanmaktadır. Daha sonra gerçekleştirilen görsel incelemede beton yüzeyindeki renk değişimleri, çatlaklar, beton örtüsü dökülmeleri, donatı açığa çıkması ve paslanması, elemanlardaki sehim ve diğer kalıcı deformasyonlar belirlenmektedir. Yangın ve söndürme suyu nedeniyle oluşan ikincil etkiler de dikkate alınarak hasarlı bölgeler fotoğraflanmakta ve yapı üzerinde haritalandırılmaktadır.

Ayrıntılı hasar analizinde beton ve donatı ayrı ayrı incelenmektedir. Betonun değerlendirilmesinde Schmidt çekici, ultrasonik dalga hızı ve termografi gibi tahribatsız yöntemlerin yanı sıra karot alma, basınç ve çekme dayanımı deneyleri, elastisite modülü ölçümü, termal analizler ve petrografik incelemeler kullanılabilmektedir. Özellikle renk değişimi ve delme direnci yöntemleri, sıcaklığa bağlı hasarın yüzeyden kesit içine doğru değişimini ve yaklaşık hasar derinliğini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Donatı ve diğer çelik elemanlarda ise kesit kaybı, aderans durumu, beton örtüsünün bütünlüğü, renk ve şekil değişimleri, burkulma, kaynak hasarı ve gerekli durumlarda numuneler üzerinden artık mekanik özellikler araştırılmaktadır.

fib Bulletin 46 [8]'ya göre yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklık gradyanları nedeniyle hasar, beton kesiti boyunca homojen dağılmamakta ve çoğunlukla ısıtılan yüzeye yakın bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle tek bir deney yönteminin hasarın gerçek yayılımını güvenilir biçimde ortaya koyması yeterli görülmemekte; görsel inceleme, tahribatsız ölçümler, malzeme deneyleri ve sıcaklık tahminlerinin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Belirlenen sıcaklık alanı yardımıyla beton ve donatının ulaştığı yaklaşık maksimum sıcaklıklar ile artık malzeme özellikleri tahmin edilmekte; bu veriler elemanların artık taşıma gücünün, rijitliğinin ve kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Değerlendirme sonucunda hasar, Sınıf 1 ile Sınıf 5 arasında derecelendirilmektedir. Sınıf 1, yalnızca yüzeysel renk değişimi veya ince çatlakların bulunduğu ve beton ile donatıda önemli özellik kaybının oluşmadığı hafif hasarı ifade etmektedir. Sınıf 2, örtü betonunda yerel dökülme, sınırlı çatlaklar ve donatıda düşük düzeyde etkilenme bulunan yüzeysel hasarı kapsamaktadır. Sınıf 3, aderans veya beton örtüsü kaybı ile sınırlı kesit ve dayanım kayıplarının görüldüğü, onarım veya yerel güçlendirme gerektiren orta düzeyde yapısal hasarı tanımlamaktadır. Sınıf 4, belirgin kesit kaybı, donatıda ciddi etkilenme ve taşıma gücünde önemli azalma bulunan, kapsamlı güçlendirme gerektiren hasar düzeyidir. Sınıf 5 ise taşıyıcı eleman veya sistem düzeyinde ağır hasar riski ya da teknik ve ekonomik açıdan onarılamaz durumları içermekte; bu sınıfta yeniden yapım veya yıkım seçenekleri değerlendirilmektedir. Yüzeysel kozmetik hasardan taşıyıcı eleman düzeyindeki ağır yapısal hasara uzanan bu beş sınıfın temel nitelikleri ve ayırt edici bulguları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Son aşamada müdahale kararı; taşıma güvenliği, sehim ve çatlak sınırları gibi kullanılabilirlik ölçütleri, malzeme dayanıklılığı, yapının işlevinin yeniden sağlanması ve ekonomik uygulanabilirlik dikkate alınarak verilmektedir. Hasarın düzeyine göre yüzey temizliği ve tamir harçları, betonarme mantolama, beton veya harç enjeksiyonu, lif takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirme, donatı takviyesi, çelik elemanlarda kaplama, kaynak onarımı veya kesit yenileme gibi yöntemler uygulanabilmektedir. Yapının güvenli ve ekonomik biçimde onarılabileceği sonucuna ulaşılması durumunda onarım ve güçlendirme planı hazırlanmakta; bunun

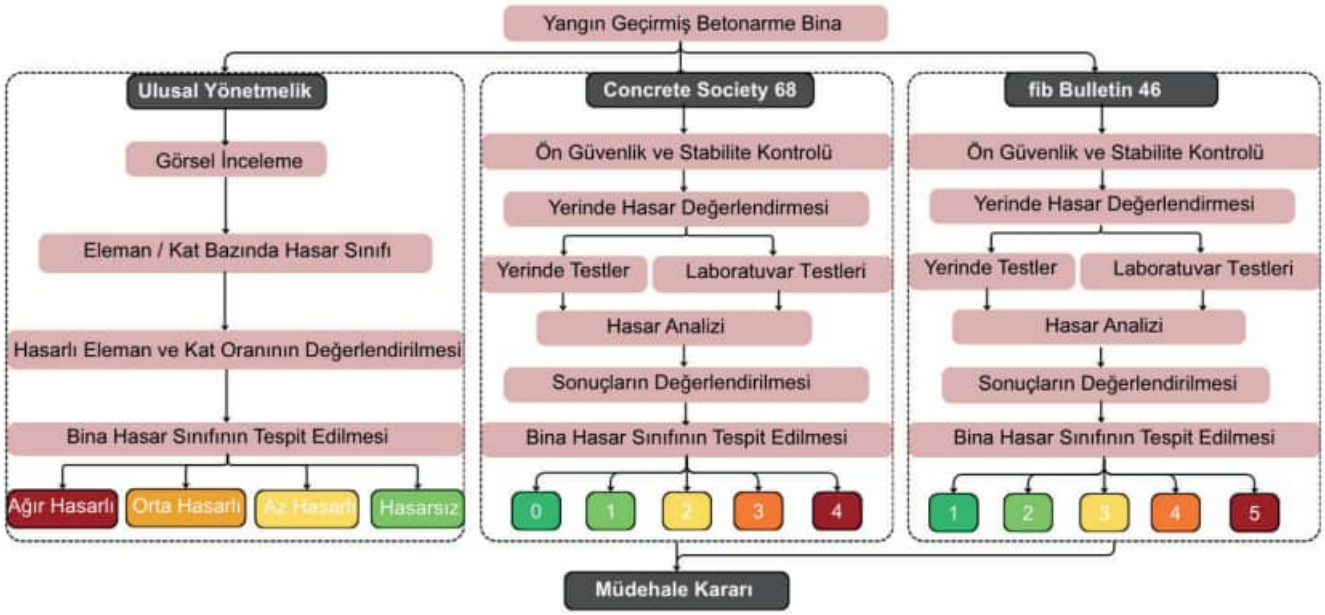
mümkün olmadığı durumlarda yeniden yapılandırma veya yıkım kararı gündeme gelmektedir.

Tablo 2. fib Bulletin 46 [8]' e göre yangın sonrası hasar sınıfları.

Hasar Sınıfı	Hasar Niteliği	Bulgular
1	Yüzeysel kozmetik hasar	İs, koku ve renk değişimi; genellikle temizlenebilir.
2	Yüzeysel teknik hasar	Kaplama bozulması, sınırlı beton dökülmesi ve metal korozyonu; yüzey onarımı gerekir.
3	Yüzeysel yapısal hasar	Beton çatlağı ve dökülmesi çoğunlukla onarılabilir.
4	Kesit düzeyinde yapısal hasar	İleri çatlama, dökülme, kesit kaybı ve büyük deformasyonlar; ayrıntılı mühendislik değerlendirmesi gerekir.
5	Taşıyıcı eleman ve bileşenlerde ağır yapısal hasar	Yaygın dökülme, açığa çıkmış donatı, büyük kalıcı deformasyon ve ciddi taşıma kapasitesi kaybı; yapı genellikle kullanım dışı bırakılır.

4. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

İncelenen yaklaşımlar, yangın sonrası yapı güvenliğini belirlemeyi amaçlamak ile birlikte değerlendirme kapsamı ve karar üretme biçimi bakımından farklılaşmaktadır. Türkiye'deki yöntem, afet sonrasında çok sayıda binanın kısa sürede incelenmesine ve mevcut hasarın standart sınıflar altında tanımlanmasına yönelik hızlı bir saha değerlendirmesidir. Concrete Society 68 [11] ve fib Bulletin 46 [8] yaklaşımları ise görsel incelemeyi başlangıç aşaması olarak ele almakta; malzeme deneyleri, hasar derinliği incelemeleri ve yapısal analizlerle devam eden kademeli bir değerlendirme süreci önermektedir. Bu nedenle ulusal yöntem daha çok acil erişim, tahliye ve idari kararları desteklerken uluslararası rehberler yapının artık güvenliğinin, yeniden kullanım koşullarının ve müdahale seçeneklerinin belirlenmesine odaklanmaktadır. Yöntemlerin genel akış şemaları Şekil 5'te özetlenmiş ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Yangın sonrası bina hasar değerlendirme yöntemlerinin akış şemalarının karşılaştırılması.

Türkiye'deki yöntemin güçlü yönü, görsel incelemeyle elde edilen bulguları standartlaştırılmış saha ölçütlerine dönüştürerek; hızlı, sonuç odaklı ve doğrudan müdahale kararlarına yön veren bir yapıya sahip olmasıdır. Sonuç karar olarak belirtilen hasar sınıflarının doğrudan idari yükümlülüklerle entegre olması, müdahale kararlarının uygulanmasında hız kazandırırken, afet sonrası saha yönetimini kolaylaştırmaktadır. Burada akılda tutulması gereken nokta, yangınlar, depremlere kıyasla afete dönüşme sıklığı daha düşük olaylardır. Bu sebeple, nadiren toplu yangınlar sebebiyle çok sayıda yapıda aynı anda hasar tespitine ihtiyaç duyulur, büyük çoğunlukla enkaz incelemesi ve hatta beton ve donatı örnekleri alındıktan sonra nihai karar verilir. Bu sebeplerle, mevzuat ve uygulamalar bağlamında hıza nadiren ihtiyaç duyulur ve değerlendirme yönteminin hızlı olması ulusal yöntemde aranan ilk kriter olmamalıdır. Zaten, yönetmelikte, kendisinin yapılara yönelik artık taşıma kapasitesini temsil eden nihai bir mühendislik kararı olarak değerlendirilmemesi gerektiğinin altını çizmektedir. Öte yandan, Concrete Society 68 [11] ve fib Bulletin 46 [8]'da görsel hasar göstergeleri, ayrıntılı incelemeye geçişi yönlendiren bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. Yangının gelişimi ve olası sıcaklık geçmişi araştırılmakta; tahribatsız deneyler, karot numuneleri ve laboratuvar incelemeleriyle hasarın kesit içerisindeki yayılımı ile artık malzeme özellikleri belirlenmektedir. Elde edilen veriler eleman ve sistem düzeyindeki kapasite hesaplarına aktarılmaktadır. fib Bulletin 46 [8], güvenlik ve kullanılabilirliğin yanı sıra dayanıklılık, onarılabilirlik ve ekonomik uygulanabilirlik açısından da yönlendirmeler içermektedir. Bu iki yaklaşımın ortak özelliği, hasarın tanımlanması, performansın hesaplanması ve müdahale kararının birbiriyle ilişkili ayrı aşamalar halinde yürütülmesidir.

Türkiye'deki yöntemin başlıca sınırlılığı, görsel hasar sınıfı ile artık taşıma kapasitesi arasında hesaplanabilir bir ilişki kurmamasıdır. Yangın hasarının beton kesiti boyunca homojen dağılmaması sebebiyle yüzey gözlemleri kesitin iç bölgelerindeki durumu tam olarak temsil etmemektedir. Isıtılan yüzeye yakın tabakalarda ciddi malzeme kayıpları oluşurken kesitin iç kısmında daha düşük sıcaklıklar ve daha sınırlı bozulmalar görülebilir. Bu nedenle artık kapasitenin belirlenmesinde hasarlı tabakanın derinliği, hasarın donatı seviyesine ulaşıp ulaşmadığı, beton örtüsündeki kayıp ve etkili kesit boyutları dikkate alınmalıdır. Renk değişimi, çatlaklar ve yüzey dökülmeleri hasarın ön haritalanması açısından yararlı göstergelerdir, ancak ulaşılan sıcaklığı veya kapasite kaybını kesin olarak göstermemektedir. Yangın sonrası beton yüzeyinin rengi; agrega türü, çimento bileşimi, yüzey koşulları, ısıtma ve soğuma biçiminden etkilenmektedir. Bununla beraber is tabakası da gerçek renk değişimini gizleyebilir. Görünür hasarı oldukça sınırlı bir elemanda ciddi donatı-beton aderans kaybı ve rijitlik azalması oluşabilir. Belirgin yüzey hasarı bulunan başka bir elemanın iç bölgesinde ise yeterli artık kapasite korunabilir. Bu nedenle orta ve ağır hasar sınıflarında görsel bulguların artık malzeme özellikleri, kalıcı deformasyon ve donatı durumu gibi nicel verilerle desteklenmesi gerekmektedir. Tüm bunlara ek olarak, artık beton özelliklerinin tahmini maksimum sıcaklığa göre doğrudan belirlenmesi de önemli belirsizlikler içermektedir. Agrega türü, başlangıç dayanımı, nem içeriği, ısıtma hızı, yüksek sıcaklıkta kalma süresi ve soğuma koşulları artık basınç dayanımı üzerinde belirleyicidir. İlaveten, basınç dayanımındaki değişimler, kalıcı sehimlerin artmasına ve yapı içerisindeki yük dağılımının değişmesine neden olabilir. Bu durum, özellikle düşük dayanımlı beton ile imal edilmiş yapısal elemanlarda, yüksek eksenel yük altında çok daha ciddi yapısal sorunlara neden olabilir. Soğuma koşullarının hızlı değerlendirme sürecine dahil edilmemesi de yöntemin bir diğer eksikliğidir. Öyle ki, söndürme suyuyla oluşan hızlı soğumanın eleman kesitinin iç ve dış bölgeleri arasında yüksek sıcaklık farklarına ve ek çatlaklara yol açtığı bilinmektedir [29]. Bu sebeple yangının söndürülme zamanı, soğuma koşulları ve değerlendirme ekibinin yapıya giriş zamanı ön bilgi toplama sürecinde kaydedilmelidir. Geçici destekleme ve yapıya güvenli giriş kararlarında soğuma aşamasındaki riskler dikkate alınmalıdır.

Öte yandan, ulusal yöntemin önemli bir eksikliği yapısal hasar derecesini temsil etmek amacıyla yangın sonrası gerçek hayatta nadiren görülen kolon burkulması vb. kriterleri dikkate almasıdır. Bu hasar modu deprem sonrası sıkça gözlenmekte, fakat yangın sonrası ana kriter olarak dikkate alınacak mertebede bir yaygınlıkla gerçek hayatta görülmemektedir. Yüksek sıcaklık etkileri altında beton dayanımındaki azalma sebebiyle kolonlarda eksenel gerilmenin artacağı ve bunun da burkulma riskini artırdığı bir gerçektir. Fakat bu durum çok narin kolon kesitlerinde dayanım kaybına sebebiyet verecek yüksek sıcaklık profillerinin

(yaklaşık >500 C) kolon çekirdeğine daha çok yaklaşması sebebiyle daha çok görülebilir. Bunun yerine, yangın etkileri sebebiyle boyu uzayan kiriş ve döşemelerde görülen hasar mekanizmaları ve bu uzamalar sebebiyle yatay yüklere maruz kalan kolonlarda görülen kesme hasarları daha yangına özgü hasar tipolojileri olarak değerlendirilebilir. Tüm bunlara ilaveten, hasar oranı ile beton pas payı arasında uyumsuz katsayılarla ilişki kurması gibi sebeplerle, yöntemin muadillerinden geride kaldığı ve güncellenmesine ihtiyaç duyulduğu açıktır. Ulusal yönetmeliğe göre örneğin, 10 mm pas payına sahip bir yapı elemanında 30 dk yangın sonrası %10, 60 dk yangın sonrası %40 donatı hasarı öngörülmekte, 90-240 dk aralığında %50 donatı hasarı sabit kalmaktadır. Bu senaryonun Eurocode 2 [24] yönetmeliğinde tanımlanan kesit sıcaklık profilleriyle uyumsuz olduğu akılda tutulmalıdır.

Ulusal hasar derecelendirme yönteminin bir diğer önemli eksikliği, görsel incelemeyi doğrulayacak tahribatsız ve tahribatlı deneylerin seçimi, uygulanması ve sonuçlarının hasar sınıflandırmasına aktarılmasına ilişkin bir prosedür sunmamasıdır. Ulusal yöntemde beton rengindeki değişim, çatlak genişliği, beton örtüsü kaybı ve donatı deformasyonu gibi gözlemsel göstergeler doğrudan eleman hasar düzeyine ve ardından Kat Yangın Hasar Oranı hesabına aktarılmaktadır. Buna karşılık Concrete Society 68 [11] ve fib Bulletin 46 [8]'da görsel inceleme, nihai hasar kararını tek başına oluşturan bir aşama olarak değil, ayrıntılı incelemeye geçişi yönlendiren bir ön değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. Her iki yaklaşımda da yalnızca kozmetik düzeyde hasar bulunmadığının belirlenmesi hâlinde yerinde ve laboratuvar incelemelerine geçilmekte; çekiçle ses kontrolü, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı (UPV), karot basınç deneyleri, petrografik incelemeler ve gerektiğinde donatı numunesi deneyleri birlikte değerlendirilmektedir. fib Bulletin 46 [8], bunlara ek olarak Windsor probu, iç kırılma ve CAPO deneyleri, termolüminesans, karbonatlaşma, kimyasal analiz ve X-ışını kırınımı gibi daha geniş bir yöntem grubu sunmaktadır. Bu deneyler birbirinin alternatifi olarak değil; yüzey sertliği, beton bütünlüğü, hasar derinliği, sıcaklık geçmişi, artık dayanım ve donatı durumu gibi farklı özellikleri belirleyen tamamlayıcı araçlar olarak ele alınmaktadır. Her iki uluslararası rehber, deney sonuçlarının sınırlılıklarını da dikkate alarak tek bir ölçüme dayalı karar verilmesini önermemektedir. Schmidt çekicinin ağırlıklı olarak yüzeye yakın beton tabakası hakkında bilgi vermesi, ultrases geçiş hızının nem, çatlaklar, beton bileşimi ve ölçüm düzeninden etkilenmesi ve yarı tahribatlı yöntemlerin güvenilirliğinin uygun kalibrasyona bağlı olması nedeniyle sonuçların yangından etkilenmemiş referans bölgelerle karşılaştırılması ve karot ya da diğer laboratuvar deneyleriyle doğrulanması gerekmektedir. Concrete Society 68 [11] ve fib Bulletin 46 [8]'da elde edilen veriler, hasarın kesit boyunca yayılımının ve artık malzeme özelliklerinin belirlenmesinden sonra eleman ve sistem düzeyindeki taşıma kapasitesi ile onarım kararına aktarılmaktadır. Türkiye'deki yöntemde bu bağlantının kurulmaması, görünür hasarı sınırlı olmasına rağmen kesit içinde önemli bozulma bulunan elemanların düşük; yalnızca yüzeysel hasar gösteren ancak yeterli artık kapasiteyi koruyan elemanların ise gereğinden ağır hasarlı sınıflandırılması riskini artırmaktadır. Bu nedenle ulusal yöntemde görsel inceleme korunmalı, ancak özellikle orta ve ağır hasar şüphesinde tahribatsız ve tahribatlı deneylerle desteklenen ikinci bir mühendislik değerlendirme aşaması tanımlanmalıdır. Bu durum, mevcut yönetmelikte deprem sonrası hasar tespitinde, hasar tespiti yapılması konusunda ihtiyaç duyulan hıza bağlı olarak farklı detaylarla değerlendirme yapılmasına olanak sağlayan alternatif yöntemlerle kolayca ele alınabilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de uygulanan yangın sonrası bina hasar derecelendirme yöntemi; fib Bulletin 46 [8] ve Concrete Society 68 [11] ile değerlendirme aşamaları, kullanılan hasar göstergeleri, deneysel incelemeler, yapısal analiz ve müdahale kararları bakımından karşılaştırılmıştır. Elde edilen başlıca bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Türkiye'deki yöntem, afet sonrasında çok sayıda binanın kısa sürede incelenmesini ve hasar düzeylerinin ortak ölçütlerle sınıflandırılmasını sağlayarak hızlı karar verme sürecini destekleyen uygulanabilir bir değerlendirme sistemi sunmaktadır. Yangın sonrası nadiren ihtiyaç duyulan hızlı

değerlendirme kaygısı, metodolojinin deprem sonrası değerlendirme analojisi üzerinden kurgulanmasına yol açmış, böylelikle yangın sonrası görülen tipik hasar modlarının gerçekçi bir şekilde dikkate alınmasını zorlaştırmıştır.

- Uluslararası rehberlerde bulunan hızlı incelemeden ayrıntılı mühendislik değerlendirmesine geçiş ölçütleri ulusal yöntemde yeterince tanımlanmamıştır. Hangi hasar düzeyinde tahribatlı veya tahribatsız deney yapılacağı, deney sonuçlarının nasıl yorumlanacağı ve hasar derinliği ile artık malzeme özelliklerinin nasıl belirleneceği belirsizdir.
- fib Bulletin 46 [8] ve Concrete Society 68 [11]'de deneysel bulgular eleman ve sistem düzeyindeki artık taşıma kapasitesi hesaplarına aktarılmakta ve sonuçlar onarım, güçlendirme veya yenileme kararlarıyla ilişkilendirilmektedir. Türkiye'deki yöntemde ise hasar sınıfı ile yapısal performans ve uygulanacak müdahale arasında açık ve hesaplanabilir bir ilişki bulunmamaktadır.
- Ulusal yöntem, hasar kriteri olarak gerçek hayatta nadiren görülen kolon burkulmasını, beton karışımındaki değişkenliğe bağlı olarak çok farklılık sergileyebilen beton renk değişimini esas almakta, buna karşın yangına özgü kiriş/döşeme uzamasından kaynaklanan mekanizmalar ve buna bağlı kolon kesme hasarları gibi yangına özgü hasar tiplerini göz ardı etmektedir. Ayrıca ve daha önemlisi, donatı hasar oranı-pas payı ilişkisinde tutarsız katsayılar içermekte ve uluslararası saygın yönetmeliklerde verilen kesit sıcaklık profilleriyle uyumsuz çıktılar üretmektedir.
- Sonuç olarak, mevcut hızlı hasar tespit sisteminin korunarak; görsel bulguları hasar derinliği, artık malzeme özellikleri ve etkili kesit gibi nesnel verilerle destekleyen, tahribatlı ve tahribatsız deneyleri bütünleşik biçimde içeren ve ayrıntılı inceleme, performans analizi ile müdahale kararlarının esaslarını tanımlayan yeni ve kademeli bir yangın sonrası değerlendirme yönetmeliğine ihtiyaç bulunmaktadır.
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik çerçevesinde sunulan yapısal bölüm güçlendirilmelidir. Mevcut halinde yığma, çelik ve ahşap yapılar için son derece kısıtlı sunulan sıcaklık ilişkileri bir eke alınarak detaylandırılmalı, yangın geçirmiş bir binanın yapısal performansının nasıl belirleneceği bu çerçevede ulusal pratikler gözetilerek detaylandırılmalı ve ulusal hasar tespit metodu bu bilgiler ışığında aynı yönetmelik ekinde planlanmalıdır. Bu uygulamada çok başlılığı ve yukarıda belirtilen belirsizlikleri ortadan kaldırabilir.

6. KAYNAKLAR

[1]. (CTIF) International Association of Fire and Rescue Services, World fire statistics, 2024, https://www.ctif.org/sites/default/files/2024-06/CTIF_Report29_ERG.pdf Son erişim tarihi: Mayıs 2025.
[2]. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi, İstatistikler, 2022, https://itfaiye.ibb.gov.tr/img/1544372132024.pdf Son erişim tarihi: 1 Temmuz 2026.
[3]. İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi, 2023 Yılı Yangın İstatistikleri, 2023, https://itfaiye.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/Dokumanlar/23012024_2023.pdf Son erişim tarihi: 3 Temmuz 2026.
[4]. Jacobs, J.P., Comprehensive fire protection and safety with concrete, British Cement Association, British Ready-mixed Concrete Association, 2007.
[5]. Qiu, J., Jiang, L., & Usmani, A., Post-fire repair of concrete structural members: A review on fire conditions and recovered performance, International Journal of High-Rise Buildings, 10(4), 323-334, 2021.
[6]. Khoury, G. A., Effect of fire on concrete and concrete structures, Progress in Structural Engineering and Materials, 2(4), 429-447, 2000.
[7]. Tovey, A. K., Assessment and Repair of Fire-Damaged Concrete Structures-an Update, ACI Structural Journal, 92-4, 47-62, 1986.
[8]. fib-46, Fire Design of Concrete Structures-Structural Behavior and Assessment, fédération internationale du béton (fib), 2008.
[9]. Agrawal, A., & Kodur, V. K. R., A Novel Experimental Approach for Evaluating Residual Capacity of Fire Damaged Concrete Members, Fire Technology, 56(2), 715, 2020.

[10]. (AFAD) Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Afetler Sonrası Bina Hasar Tespiti Yapılmasına İlişkin Genel Kurallar Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete, Sayı: 32934, 2025.
[11]. Concrete Society, Technical Report: Assessment, design and repair of fire-damaged concrete structures, 2008.
[12]. (AIJ) Architectural Institute of Japan, Diagnosis and Repair Methods of Fire-Damaged Buildings, 2004.
[13]. (KCI) Korea Concrete Institute, Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures, 2005.
[14]. (AIK) Architectural Institute of Korea, Repair and Reinforcement of Concrete Structures, 1997.
[15]. (NCMA) National Codes and Standards Council of the Concrete and Masonry Industries, Assessing the condition and repair alternatives of fire-exposed concrete and masonry members: Fire protection planning report, 2004.
[16]. Applied Technology Council (ATC), Field manual: postearthquake safety evaluation of buildings (ATC-20-1) Second Edition, Applied Technology Council, 2005.
[17]. Gerasimidis, S., Civjan, S., & Menz, N., Post-fire damage inspection of concrete structures (Report No. 21-017), Massachusetts Department of Transportation, Office of Transportation Planning, 2021.
[18]. Ertaş, O., İmren, Ö., Özden, Ş., Çengel, M., Türkiye'deki Erken Dönem Betonarme Yapı Örneklerinin Deprem İle Olan İlişkileri: Hennebique Sistem, Turkish Conference on Earthquake Engineering, 2021.
[19]. URL-1, İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı (İDMP), 2000, https://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/ Son erişim tarihi: Mayıs 2025.
[20]. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul'un olası deprem kayıpları tahminlerinin güncellenmesi işi: Sonuç raporu, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, 2009.
[21]. İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi, 2024 Yılı Yangın İstatistikleri, 2024 https://itfaiye.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/Dokumanlar/22012025_2024_YILI_YANGIN-WEB.pdf Son erişim tarihi: 3 Temmuz 2026.
[22]. İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesi, 2025 Yılı Yangın İstatistikleri, 2025 https://itfaiye.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/Dokumanlar/21012026_2025_YILI_YANGINI.pdf Son erişim tarihi: 3 Temmuz 2026.
[23]. Hager, I., Colour change in heated concrete, Fire Technology, 50(4), 945-958, 2014.
[24]. (EN-1992-1-2) European Committee for Standardization (CEN), Eurocode 2: Design of concrete structures-Part 1-2: General rules - Structural fire design, 2004.
[25]. Schneider, U., Nagele E., Repairability of Fire Damaged Structures (CIB W14), Conseil International du Batiment (CIB), 1990.
[26]. Ilki, A., & Demir, U., Factors affecting the seismic behavior of reinforced concrete structures after fire exposure, NED University Journal of Research, 1, 31-41, 2009.
[27]. Albrektsson, J., Flansbjer, M., Lindqvist, J. E., & Jansson, R., Assessment of concrete structures after fire, Fire Technology, 2011.
[28]. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Bakanlar Kurulu Kararı No. 2007/12937, T.C. Resmî Gazete, 26735, 2007.
[29]. Akbulut, Y. E., Nayır, S., Altunışık, A. C., Kahya, V., Sünnetci, M. O., & Ersoy, H., Effectiveness of FRP wrapping of heat-damaged concrete in compression for different cooling procedures, Materials and Structures, 58(4), 156, 2025.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Nefise AKDAĞ
2024 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Mimarlık Bölümünden lisans derecesini almış olup, aynı bölümde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Akademik ilgi alanları arasında betonarme yapıların yangın sonrası davranışı, yapısal güvenlik, ileri kompozit malzemelerle güçlendirme teknikleri, makine öğrenmesinin yapısal değerlendirmede kullanılması yer almaktadır. Ulusal ve uluslararası ölçekte yürütülen çeşitli araştırma projelerinde araştırmacı olarak görev alan Nefise AKDAĞ, deneysel çalışmaların yanı

sıra saha araştırmaları, hızlı hasar değerlendirmesi, veri tabanı geliştirme ve yapay zekâ destekli yapısal modelleme konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

Uğur DEMİR
Uğur DEMİR, 2021 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Mimarlık Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak göreve başlamış olup, hâlen aynı bölümde "Doçent" unvanıyla görev yapmaktadır. Yapı mühendisliği alanında çalışmalarını sürdüren Uğur DEMİR'in başlıca araştırma konuları; betonarme yapıların deprem performansı, güçlendirilmesi ve yapısal sağlık izlemesi, betonarme yapıların yangın etkisi altındaki ve yangın sonrası davranışı, ultra yüksek performanslı çimento esaslı kompozitler ile yığma yapıların sismik davranışıdır. Ayrıca İYTE'de yapı sistemleri, yapı analizi, betonarme yapı tasarımı, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapısal yangın güvenliği alanlarında lisans ve lisansüstü dersler vermektedir.

BİNALARIN YANGINLA MÜCADELE SİSTEMİ TASARIMINDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

Umut Barış YILMAZ

ÖZET

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, mühendislik disiplinlerinde tasarım, analiz ve karar destek süreçlerini önemli ölçüde dönüştürmektedir. Bu kapsamda, YZ araçlarının binaların yangınla mücadele sistemlerinin tasarımındaki etkinliğinin değerlendirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, kapalı bir otopark yapısına ait sulu yangın söndürme sistemi tasarımı üç farklı YZ aracı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, geleneksel mühendislik yöntemiyle hazırlanan tasarımla karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında YZ araçlarının mimari projeyi analiz etme, yürürlükteki yönetmelik ve standartları değerlendirme, uygun yangın söndürme sistemini ve ekipmanlarını seçme, ekipman yerleşimini ve borulama tasarımını oluşturma, tasarım raporu hazırlama, metraj çıkarma ve yaklaşık maliyet hesaplama performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. YZ araçlarının tasarım sürecini önemli ölçüde hızlandırabildiği ve mühendislik kararlarını destekleyebildiği, ancak elde edilen çıktılarının uzman mühendis tarafından teknik ve mevzuat açısından doğrulanmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Yapay zekâ, YZ, yangın güvenliği mühendisliği, yangın söndürme sistemleri, otopark, tasarım optimizasyonu

LEVERAGING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DESIGN OF BUILDINGS FIREFIGHTING SYSTEMS

ABSTRACT

The rapid advancement of artificial intelligence (AI) technologies is significantly transforming design, analysis, and decision-support processes across engineering disciplines. In this context, evaluating the effectiveness of AI tools in the design of building fire protection systems has become increasingly important.

In this study, the design of a water-based fire suppression system for an enclosed parking garage was carried out using three different AI tools, and the results obtained were compared with those produced using the conventional engineering design approach. The comparative evaluation focused on the capabilities of AI tools in analyzing architectural drawings, interpreting applicable regulations and standards, selecting appropriate fire suppression systems and equipment, generating equipment layouts and piping designs, preparing design reports, performing BoQs, and estimating project costs. The results indicate that AI tools can significantly accelerate the design process and effectively support engineering decision-making. However, the outputs generated by AI must be technically verified by qualified fire protection engineers to ensure compliance with applicable regulations, engineering principles, and design standards.

Key words: Artificial intelligence, fire protection engineering, standpipe system, sprinkler system, parking garage, bill of material, BoQ, approximate cost analysis

1. GİRİŞ

Temelleri 1950 yılında Alan Mathison Turing'in 'Makineler düşünebilir mi?' sorusu ve Turing Testi [1] ile atılan, kavramsal olarak ise ilk kez 1956'da Dartmouth Konferansı'nda John McCarthy [2] tarafından tanımlanan yapay zekâ, günümüzde büyük bir teknolojik dönüşümün merkezinde yer almaktadır. Üretken modellerin yaygınlaşması, işlem gücü kapasitesindeki artış ve mühendislik uygulamalarına yönelik yatırımlar sayesinde bu teknoloji, başta savunma sanayi, inşaat, sağlık ve finans olmak üzere birçok sektörde karar destek mekanizması olarak ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. 2025 yılı itibarıyla 300 milyar dolarlık bir küresel pazar büyüklüğüne ulaşan YZ [3], artık sadece bir yazılım aracı değil, karmaşık sistemlerde dinamik karar destek mekanizmaları oluşturan stratejik bir sistem mimarisi haline gelmiştir.

Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, mühendislik disiplinlerinde tasarım, analiz ve karar destek süreçlerini önemli ölçüde dönüştürmektedir. Büyük miktarda verinin kısa sürede değerlendirilebilmesi, farklı standart ve teknik dokümanların analiz edilebilmesi, alternatif çözüm önerileri geliştirilebilmesi ve maliyet analizlerinin gerçekleştirilebilmesi sayesinde YZ araçları mimarlık, inşaat ve mekanik tesisat başta olmak üzere birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yangın güvenliği mühendisliği de bu dönüşümden etkilenen disiplinlerden biri olup, yangın senaryolarının değerlendirilmesi, risk analizlerinin gerçekleştirilmesi, performansa dayalı tasarım çalışmalarının yürütülmesi ve yangın söndürme sistemlerinin projelendirilmesi süreçlerinde YZ destekli yaklaşımlar giderek daha önemli hâle gelmektedir.

Türkiye'de yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması amacıyla tasarlanan otomatik yağmurlama (sprinkler) ve yangın dolabı sistemlerinin gerekliliği, yapının kullanım amacı, mimari özellikleri, kapalı alan büyüklüğü, yangın yükü ve tehlike sınıfı gibi kriterlere bağlı olarak yürürlükteki BYKHY hükümlerine göre belirlenmektedir. Sistemlerin tasarımında ise öncelikle Türk Standartları, bunların yetersiz kaldığı durumlarda Avrupa ve diğer uluslararası standartlar ile teknik yönergeler esas alınmaktadır. Bu nedenle tasarım süreci, Türkiye'de yürürlükte bulunan mevzuat başta olmak üzere çok sayıda standart ve teknik dokümanın birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca ekipman seçimi, koruma alanlarının belirlenmesi, ekipman yerleşimi, borulama sisteminin boyutlandırılması, metraj hazırlanması ve yaklaşık maliyet hesaplarının yapılması gibi çok sayıda mühendislik çalışmasını da kapsamaktadır.

Geleneksel tasarım yaklaşımında söz konusu çalışmalar büyük ölçüde mühendislik deneyimine, bilgisayar destekli hesap yöntemlerine ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarına dayalı olarak yürütülmektedir. Buna karşın son yıllarda gelişen üretken yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojileri, mimari planların analiz edilmesi, standart ve yönetmelik hükümlerinin yorumlanması, uygun sistem alternatiflerinin oluşturulması, metraj hazırlanması ve maliyet analizlerinin gerçekleştirilmesi gibi süreçlerde önemli bir potansiyel ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, YZ araçlarının yangın güvenliği sistemlerinin tasarımındaki doğruluğu, yürürlükteki mevzuata uyumu, mühendislik kararlarını destekleme kapasitesi ve tasarım sürecinin farklı aşamalarındaki etkinliğini sistematik olarak değerlendiren çalışmaların sayısı hâlen sınırlıdır.

Bu çalışmada, kapalı bir otopark yapısı örneği üzerinden yangın söndürme sistemi tasarımına ilişkin belirlenen proje aşamaları farklı YZ araçlarına aynı girdiler kullanılarak uygulanmış ve bu araçların her bir aşamadaki performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geleneksel mühendislik yöntemleri kullanılarak hazırlanan tasarımlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca YZ araçlarının mimari çizimleri analiz etme, standart ve yönetmelikleri yorumlama, uygun sistem ve ekipman seçimi yapma, ekipman yerleşimini oluşturma ve yaklaşık maliyet tahmininde bulunma konularındaki doğrulukları, avantajları ve sınırlılıkları çerçevesinde incelenmiştir. Böylece yangın söndürme sistemi tasarım sürecinin hangi aşamalarında YZ araçlarının daha yüksek katma değer sağlayabildiğinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Tablo 1. Tasarım aşamaları

Aşama No	Aşama	Beklenen İşlemler	Beklenen Çıktılar
1	Mimari proje analizi	Mimari projelerin incelenmesi, kat planında hangi mahaller olduğunu, bu mahallerin ve park yerinin alan bilgilerinin liste halinde çıkartılması, kat planı boyutu nedeni ile BYKHY'e göre yangın kompartımanı gerekip gerekmediği, yangın pompa odası ve su deposunun boyutlarının yeterliliğinin kontrol edilmesi.	Tasarıma esas proje verilerinin çıkartılması
2	Mevzuat analizi, sistem seçimi	BYKHY, ilgili TS EN standartları (TS EN 12845, TS EN 671 vb.), gerekirse diğer standartların incelenmesi. Kullanım amacına göre sprinkler tehlike sınıfı (LH, OH, HH vb.), yangın yükü, tasarım yoğunluğu, koruma alanlarının belirlenmesi.	Tasarım kriterleri ve risk sınıfı, sistem seçimi raporu
3	Ekipman yerleşimi ve borulama tasarımı	Sprinkler başlıkları, yangın dolapları, kontrol vanaları, alarm vanaları, test ve drenaj noktaları, pompa odası yerleşimi. Boru güzergâhları, kolonlar, branşmanlar, çapların tablo metodu ile belirlenmesi.	Yangın projesi (ekipman ve borulama planları)
4	Tasarım Raporu	Yukarıdaki adımlar sonucunda elde edilen tasarım esasları, hesap yöntemleri, standart referansları, ekipman seçimleri kapasiteleri ile birlikte rapor haline getirilmesi. Pompa debi - basınç (Hazen-Williams) değerlerinin ve su deposu hacminin belirlenmesi.	Tasarım raporu
5	Keşif ve metraj	Sulu yangın söndürme sisteminde kullanılan malzemenin (borular, vanalar, sprinklerler, dolaplar, pompalar, askılar vb.), T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatlarına göre miktarlarının ve yaklaşık maliyetinin çıkarılması.	Keşif, metraj tabloları

Uygulama projesi için gerekli olan hidrolik analiz, askı-montaj-imalat detayları, diğer disiplinler ile koordinasyon, kesit-izometri çizimi vb. pek çok mühendislik dokümanının yapay zekâ desteği ile istenilen düzeyde hazırlanamayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle tasarım aşamaları ön, kesin ve uygulama olarak ayrılır ise bu çalışmada kesin proje değerlendirilmiştir. Her madde için aynı tasarım bilgileri farklı YZ araçlarına tanıtılmış, her maddenin kendi içinde değerlendirmesi ve toplam puanlaması yapılarak sayısal olarak karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR

Yapay zekânın yangınla mücadele sistemlerinde kullanımıyla ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir. Bu çalışmaların ağırlıklı olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD – CFD) alternatifi için geliştirildiği fakat söndürme sistemi tasarımında henüz yaygın olarak kullanılmadığı anlaşılmaktadır.

Zeng ve arkadaşları [4] yapmış oldukları bu çalışmada pix2pixHD üretken çekişmeli ağlar (Generative Adversarial Network - GAN) yani mevcut verilerden öğrenerek tamamen yeni, gerçekçi ve orijinal veriler üretmeye yarayan bir derin öğrenme mimarisi kullanarak mimari kat planlarında otomatik sprinkler tasarımı sağlayan YZ tabanlı bir altyapı sunmuştur. Çalışma sonucunda, uzman mühendislerinkine denk %99,5 koruma kapsamı, %76 zaman tasarrufu ve %13 daha az sprinkler başlığı kullanımı ile optimize edilmiş, standartlara uygun yangın güvenlik tasarımlarının kısa bir sürede üretilmesi sağlanmıştır.
Zeng ve arkadaşlarının [5] yapmış oldukları bir başka çalışmada ise karmaşık binalarda duman akışını ve kurum dağılımını kısa zaman simüle etmek için YZ modeli geliştirilmiştir. Karmaşık atriyumlu binalarda duman yayılımını ve kurum görünürlüğünü geleneksel yöntemlere kıyasla %92 doğrulukla, kısa sürede simüle ede-

bilen pix2pix GAN ve difüzyon modellerini sunmaktadır. Geleneksel HAD yöntemlerinin yerine geliştirilen bu AI tabanlı yaklaşım, mevcut güvenli kaçış süresi (ASET) hesaplamalarını hızlandırarak performans esaslı tasarım süreçlerinde önemli zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmasını hedeflemiştir.

2022 yılında yayınlanan bir diğer makalede [6], HAD simülasyonları yerine yapay zekâ kullanarak duman davranışını kısa bir sürede %97 doğrulukla tahmin eden ve yangın mühendisliği çalışmalarını otomatize eden IFETool (Intelligent Fire Engineering Tool) YZ yazılımı tanıtılmaktadır. Atrium yangınları için büyük bir sayısal veri tabanı oluşturulmuş, derin öğrenme modeli çalıştırılarak duman, sıcaklık, CO konsantrasyonu dağılımı ile buna bağlı tahliye süresi kısa sürelerde %97 doğrulukla elde edilmiştir.

Parekh'in 2024 tarihli çalışmasında [7], deneysel ve sayısal analiz verileri kullanarak kapsamlı bir yangın veri tabanı geliştirme yönergesi sunulmaktadır. Ayrıca, yangın senaryolarını tespit etme ve tahmin etme konusunda önemli potansiyele sahip YZ algoritmaları incelenmiştir. Yapay zekâ ve derin öğrenme kullanarak yangın simülasyonlarından dinamik, süper gerçek zamanlı tahmin (SuRF) sistemlerine geçişi incelemektedir. Çalışmada yangın güvenliği mühendisliğinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlayan yenilikçi bir metodoloji ortaya koymakta, yangın anında gerçek zamanlı veri sağlayarak güvenlik seviyesinin arttırılabileceği sonucuna varmıştır.

Ulusal Yangın Söndürme Sistemleri Birliği (NFSA), Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA) 13, standartlarını takip eden ChatEOD isimli bir YZ aracı geliştirdi ve sonrasında örnek bir çalışma yapılarak test edildi [8]. Çalışmada bulut asma tavanlar arasındaki boşlukların NFPA 13'e (2016) göre nasıl korunması gerektiği hakkında sorular Gemini, GPT4, GPT5 ve ChatEOD'ye soruldu. En doğru cevapların ChatEOD tarafından verildiği tespit edildi. Benzer şekilde NFPA, CASI (Codes and Standards Intelligence) isimli bir YZ aracı geliştirerek Ocak 2026'da NFPA LiNK 3.0'ın bir parçası olarak piyasaya sürdü. Yapay zekâ destekli bir asistan olan CASI, yangın mühendislerinin 1600'den fazla yangın ve yaşam güvenliği kodundan kesin cevaplar ve doğrudan içerik alıntıları bulmasına yardımcı olmaktadır [9].

Yangın Koruma Mühendisleri Derneği'nin (SFPE) 2025 yılında yapılan YZ Zirvesi notlarında yapay zekanın, mühendislerin araştırma yapma biçiminin doğal bir evrimi gibi görüldüğü, eskiden kitap ve dergileri karıştırmayı gerektiren işlemlerin, artık YZ destekli özetler sayesinde saniyeler içinde tamamlanabildiği, hesap ve çizim programları gibi, yapay zekânın da teknik iş akışlarımızda temel bir araç olma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmiştir. Ancak yapay zekânın gerçekleri veya kaynakları uydurduğu "halüsinasyonlar" büyük bir endişe kaynağı olduğunun altı çizilmektedir. Zirvede bir konuşmacı, Minnesota'da bir uzmanın beyanının YZ tarafından üretilen sahte alıntılar nedeniyle geçersiz sayıldığı bir mahkeme davasına atıfta bulunmuş, benzer olaylar New York ve ötesinde de yaşandığı belirtilmiştir [10]. Sonuç olarak, sorumluluğun yangın profesyonellerinde olduğu altı çizilmektedir. Çizim tarafında ise Autodesk AI araçları ile günümüzde rutin görevlerin otomatikleştirilmesi, çakışma analizi, boru/kanal güzergâh optimizasyonu gibi işi hızlandıran bazı konularda destek almak mümkündür. MagiCAD, HydraCAD, AutoSPRINK, SprinkCAD gibi YZ desteği olmayan, tamamen operatör tarafından yönlendirilen yazılımlar ile DWG dosyaları üzerinde sprinkler yerleşimi, borulama, hidrolik hesap, malzeme listesi çıkartma gibi işlemler hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

3. SEÇİLEN YAPAY ZEKÂ ARAÇLARI

Bu çalışmada YZ-A, YZ-B ve YZ-C kısaltmaları ile adlandırılan yapay zekâ araçları kullanılmış olup, bazı bilgileri aşağıda tablo halinde verilmiştir.

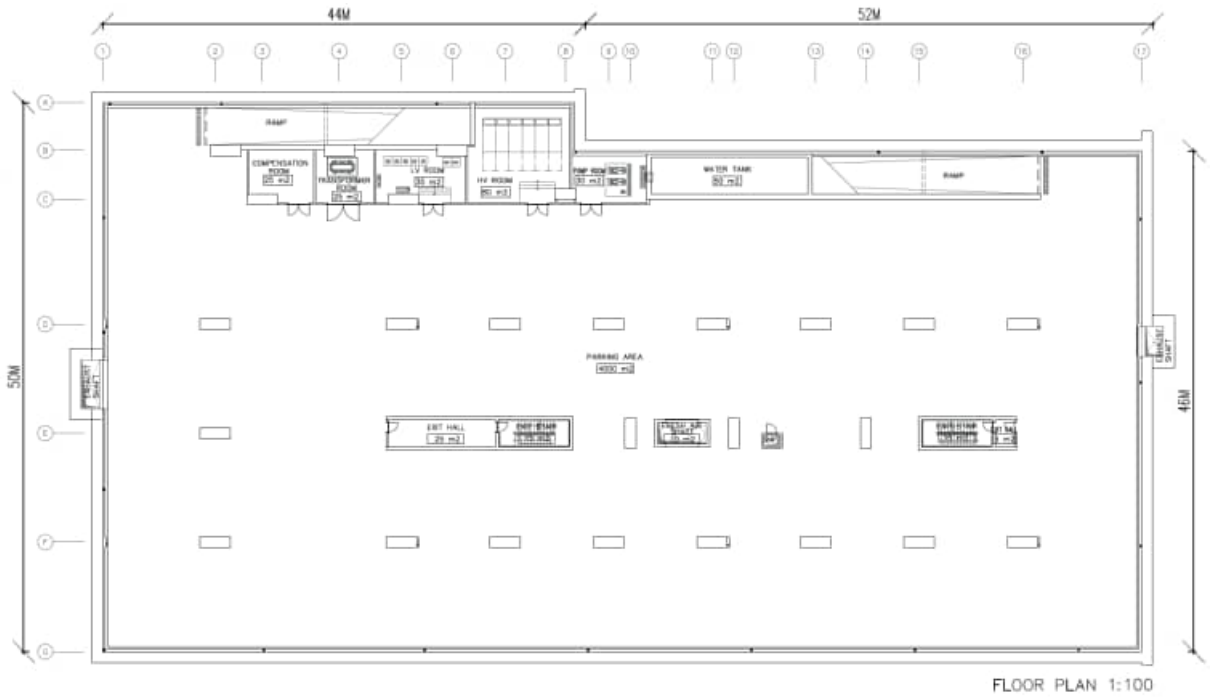
Tablo 2. Kullanılan yapay zekâ araçları

AI Aracı	YZ-A	YZ-B	YZ-C
Model tipi	Çok modlu (Multimodal Transformer)	Doğuştan çok modlu Transformer	LLM + Web Arama
Metin işleme	✓	✓	✓
Görüntü analizi	✓	✓	✓
PDF analizi	✓	✓	✓
Kod üretimi	Var	Var	Var
Web erişimi	Var	Var	Var
Uygulama programlama arayüzü (API) desteği	Var	Var	Var

4. PROJE BİLGİLERİ

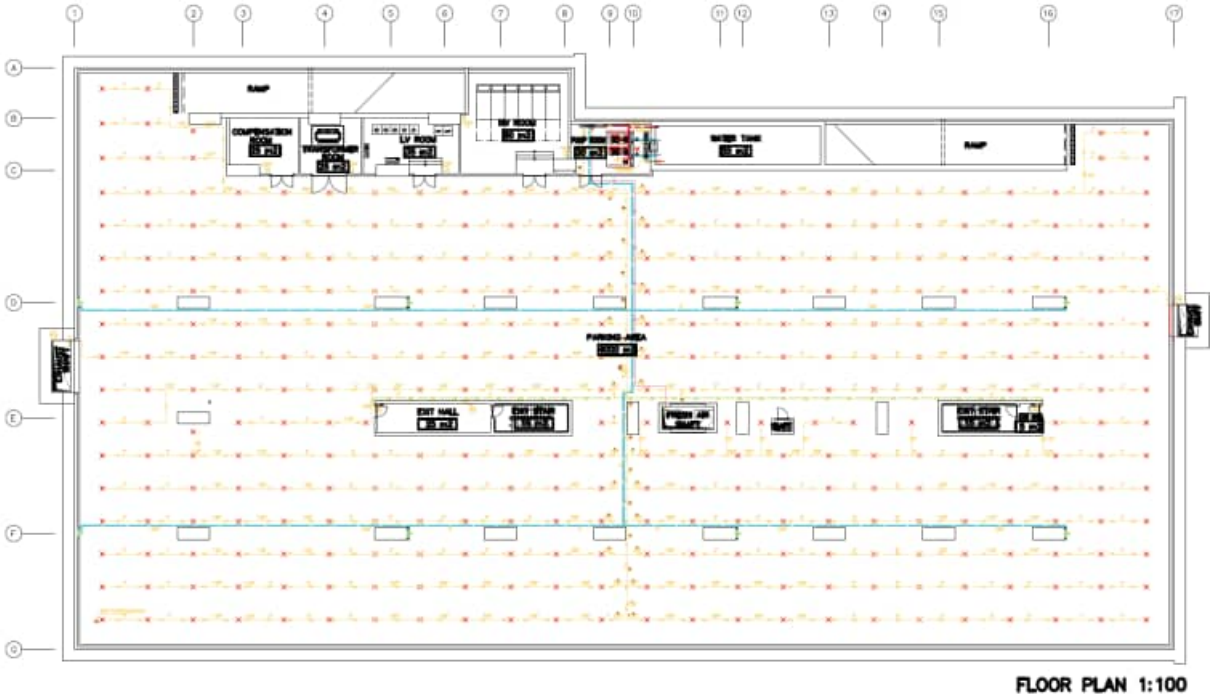
Birinci aşamada YZ araçlarına tanıtılacak otopark projesi kat planı ve bilgileri aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Mimari proje olabildiği kadar basit ve bir otopark yapısında bulunması gereken elektrik odaları, yangın pompa odası, merdiven kovaları, otopark havalandırma şaftları, araç rampaları ve tesisat şaftı bölümleri ile birlikte tasarlanmıştır.

Otopark Toplam Alanı : 4500 m²
Otopark Araç Park Alanı : 4000 m²
Kat Yüksekliği : 5 m
Konum : Mersin
Dış Hava Tasarım Sıcaklığı (Kış) : +3 C°
Bulunduğu Kat : 1.Bodrum
Tasarım Standart ve Yönetmelikleri : TS EN, BYKHY



Şekil 1. Otopark mimari kat planı

Yapay zekâ araçları yardımı ile yapılan sulu yangın söndürme sistemleri sonucunda 5. Aşamada elde edilmesi hedeflenen keşif ve metrajın kontrol edilebilmesi için geleneksel yöntemler ile bir tasarım yapılarak metrajı çıkartılmıştır. Ayrıca 4. Aşamada talep edilen pompa basınç kaybı hesabı için tesisat projesinin YZ araçlarına yüklenmesi planlanmaktadır.



Şekil 2. Otopark yangın söndürme sistemi kat planı

Islak alarm vanalı sprinkler sistemi (sarı hatlar), yangın dolabı sistemi (mavi hatlar), itfaiye su verme ağzı hattı (pembe) ve itfaiye su alma ağızlarına (yeşil) yer verilmiştir.

5. TASARIM ÇALIŞMALARI

Mimari proje ve birinci bölümde belirtilen proje aşamaları, sırasıyla YZ-A, YZ-B ve YZ-C yapay zekâ araçlarına aynı girdilerle sunulacak, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak bu bölümde değerlendirilecektir.

5.1. YZ-A

1. Aşama - Mimari Proje Analizi: CAD ve PDF formatlarındaki mimari kat planı ile Tablo 1'de belirtilen beklenen işlemler YZ'ya sunulmuştur. PDF formatının daha sağlıklı okunduğu saptanmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

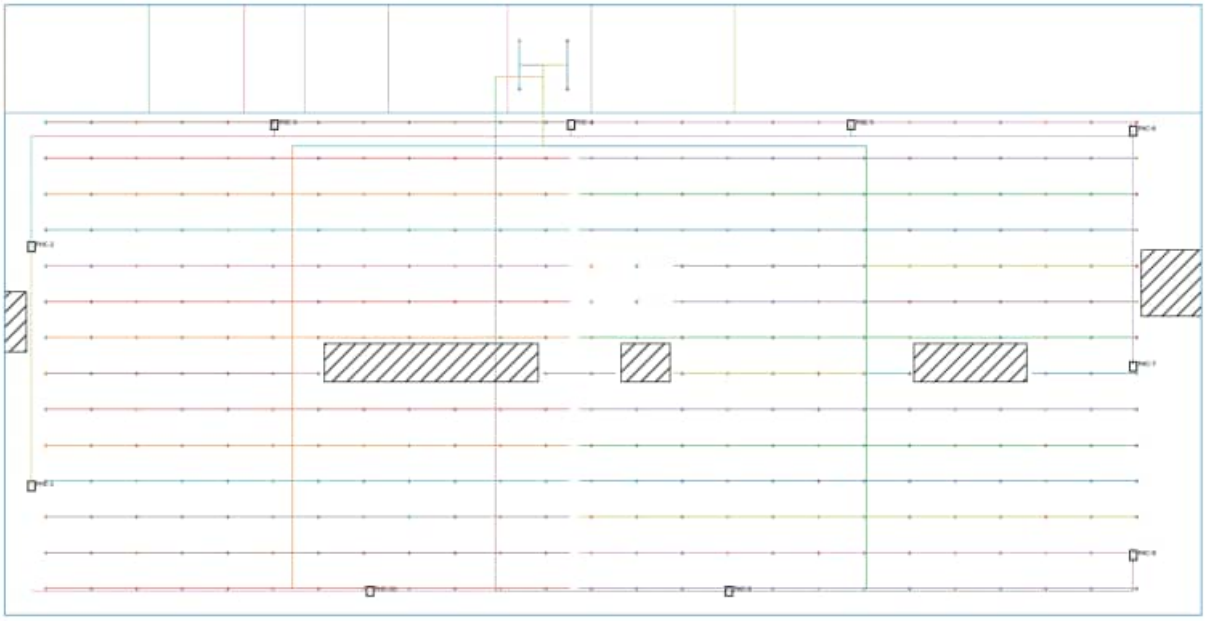
Parametre	Notlar	Sonuç
Boyutlar	Mimarideki boyut bilgileri doğru analiz edilmiştir.	✓
Yazılar	Mahal isimleri doğru analiz edilmiştir.	✓
Alan	Mahallerin alan bilgilerinde taze hava şaftı (10 m²) okunamamış, merdiven hollerinden birinin de alanı 5 m² yerine 15 m² ve pompa odası 30 m2 yerine 50 m2 olarak yanlış okunmuştur. Toplam mahal sayısına bakıldığında analiz doğruluk oranı %92, toplam alana göre ise analiz doğruluk oranı %99'dur.	X
Yangın Kompartmanı	Otoparkın tek, teknik mahallerin ayrı yangın kompartmanı olacağı değerlendirilmiş (BYKHY Ek-4'de otopark için sınır bulunmamaktadır).	✓
Pompa Odası ve Su Deposu	Ön değerlendirme sonucunda yeterli olarak analiz edilmiştir, uygundur.	✓

2. Aşama - Mevzuat ve Standart Analizi: Tablo 1'de belirtilen talepler yazılıma girilerek sonuçları aşağıda verilmiştir:

Parametre	Notlar	Sonuç
Tehlike Sınıfı	TS EN 12845'e göre ST2 olacağı yazılmıştır. Tek yangın zonu < 12.000 m² (TS EN 12845 - Çizelge 17)	✓
Sprinkler	Gerekliliği : Gerekli > 600 m² (BYKHY Madde 96) Sistem seçimi : Islak borulu Tasarım yoğunluğu : 5 mm/dk (TS EN 12845 - Çizelge 3) Hidrolik tasarım alanı : 144 m² (TS EN 12845 - Çizelge 3) Maks. sprinkler koruma alanı : 12 m²/başlık (TS EN 12845 - Çizelge 19) Maksimum sprinkler aralığı : 4 m (TS EN 12845 - Çizelge 19)	✓
Yangın Dolabı	Gerekliliği : Gerekli > 600 m² (BYKHY Madde 94) Aralık : 30 m (BYKHY Madde 94)	✓
İtfaiye Su Alma Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 94) Aralık : 60 m (BYKHY Madde 94)	✓
İtfaiye Su Verme Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 97) Not: "Sprinkler sistemi olması nedeni ile gereklidir." cevabı tekrar sorulduğunda doğru cevap alınmıştır. Aralık : 1 Adet (BYKHY Madde 97)	✓

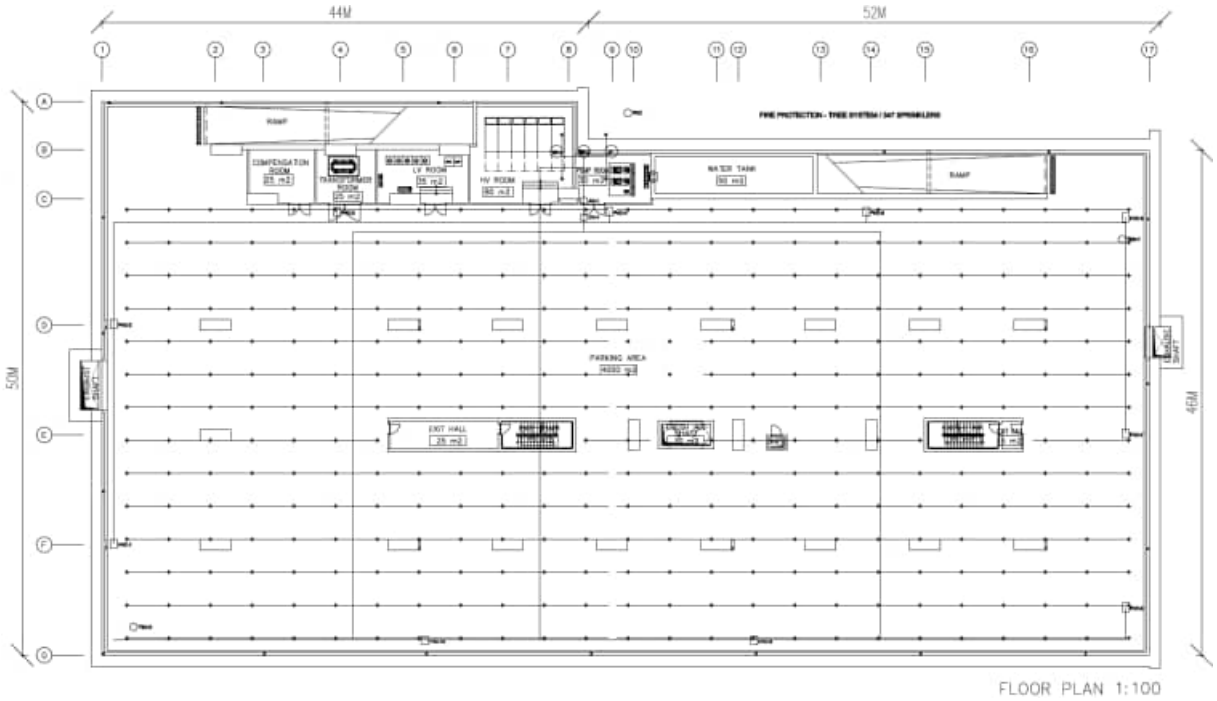
3. Aşama – Ekipman Yerleşimi ve Borulama Tasarımı: 1. aşamada tanıtılan mimari kat planı DXF formatında düzenlenerek 2. Aşamada belirlenen sulu yangın söndürme sistemlerinin tasarlanması için yapay zekâya aktarılmıştır. Sprinkler borulama tasarımında TS EN 12845 ön hesaplamalı sistemler ve hidrolik analiz yöntemlerinin kullanabileceği belirtilmiştir.

Birkaç düzeltme sonucunda 10 yangın dolabı ve 347 sprinkler yerleşimi aşağıdaki gibi yapılmıştır. Tasarımın çizim aşamasında YZ aracının doğru çıktı vermediği fakat geliştirilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. YZ-A tarafından yapılan sprinkler ve yangın dolabı yerleşimi ile borulama planı

YZ-A'nın önceden belirlenen tasarım kriterleri doğrultusunda yangın söndürme sistemi sprinkler ve yangın dolabı yerleşimi ile borulama planını herhangi bir CAD formatındaki (DWG, DXF vb.) çizime aktaramaması nedeni ile liste işleme (LISP) dosyası hazırlatılarak CAD yazılımında aşağıdaki çizim elde edilebilmiştir.



Şekil 4. YZ-A tarafından hazırlanan LISP ile oluşturulan sprinkler ve yangın dolabı yerleşim planı

Çizimde ekipman yerleşim optimizasyonu ve borulama konularında eksikler olduğu fakat üzerinde çalışılarak iyileştirilebilir olduğu görülmektedir.

4. Aşama – Tasarım Raporu Yazılması: İlk üç aşamada elde edilen verilerin rapora aktarılması talep edilmiştir. Raporun uygun bir şekilde çıkartıldığı görülmüştür. Bununla birlikte, Python programlama dili kısıtları nedeni ile rapor Word formatında tek seferde alınamamıştır. Uygulamadan kopyalanan raporun Word'te tekrar düzenlenmesi gerekmiştir.

5. Aşama – Keşif-Metraj: Üçüncü bölümde hazırlanan yangın söndürme sisteminde kullanılan malzemelerin T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatlarına göre miktarlarının ve yaklaşık maliyetinin çıkarılması talep edilmiştir. Yapay zekâ aracının 4.470.356,89 TL tutarında ve %90 doğruluk düzeyinde bir yaklaşık maliyet hesapladığı görülmüştür. Bununla birlikte metrajı çıkartırken dikkate alması gereken parametrelerin (ana pompaların emiş ve basma hatlarının debi değerine göre MMO Yangın Tesisatı Kitabı veya NFPA 20'deki tablolardan alınması, pompa test hattının olacağı vb.) detaylı şekilde tanımlanması gerekmektedir.

5.2. YZ-B

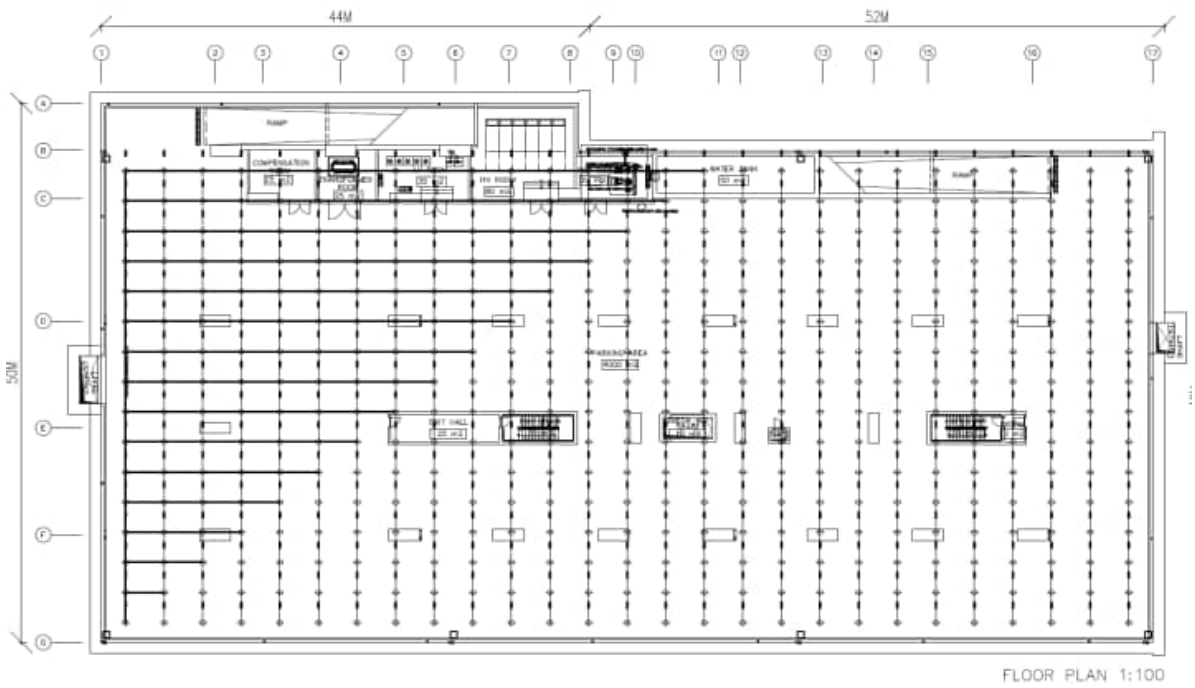
1. Aşama - Mimari Proje Analizi: YZ aracı DWG/DXF formatlarını doğrudan işleyemediği için PDF formatlarındaki mimari kat planı ile Tablo 1'de belirtilen yapılması beklenen işlemler aktarılmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

Parametre	Notlar	Sonuç
Boyutlar	Mimarideki boyut bilgileri yanlış analiz edilmiştir.	X
Yazılar	Mahal isimleri eksiksiz analiz edilmiştir.	✓
Alan	Mahal alanları eksiksiz analiz edilmiştir.	✓
Yangın Kompartmanı	Sprinkler sistemi var ise tek, yok ise 2 zone yapılacağı yazılmış. Proje bilgilerine göre sprinkler olacağını kabul etmemiştir. Teknik mahallerin ayrı yangın kompartmanı olacağını değerlendirmiştir.	X
Pompa Odası ve Su Deposu	Ön değerlendirme sonucunda yeterli olarak analiz edilmiştir.	✓

2. Aşama - Mevzuat ve Standart Analizi: Tablo 1'de belirtilen talepler yazılıma girilerek sonuçları aşağıda verilmiştir:

Parametre	Notlar	Sonuç
Tehlike Sınıfı	TS EN 12845'e göre ST2 olacağı yazılmıştır. Tek yangın zonu < 12.000 m² (TS EN 12845 - Çizelge 17)	✓
Sprinkler	İlk aşamada tehlike sınıfını ST3 olarak yazmış, sprinkler gerekçesi yönetmelik bilgisini yanlış yazmıştır.	X
Yangın Dolabı	Gerekçesi yanlış yazılmıştır.	X
İtfaiye Su Alma Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 94) Aralık : 60 m (BYKHY Madde 94)	✓
İtfaiye Su Verme Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 97) Aralık : 1 Adet (BYKHY Madde 97)	✓

3. Aşama – Ekipman Yerleşimi ve Borulama Tasarımı: Mimari kat planı DXF formatında düzenlenerek sulu yangın söndürme sistemlerinin tasarlanması için yapay zekâya aktarılmıştır. Yazılım hiçbir CAD formatında çizim yapamamaktadır. Bu nedenle LISP dosyası hazırlatılarak CAD yazılımında aşağıdaki çizim elde edilebilmiştir.



Şekil 5. YZ-B tarafından hazırlanan LISP ile oluşturulan sprinkler ve yangın dolabı yerleşim planı

Sprinkler istenmeyen mahaller, bazı hatların eksikliği gibi LISP kodunun hatalı olduğu görülmüştür.

4. Aşama – Tasarım Raporu Yazılması: İlk üç aşamada elde edilen verilerin rapora aktarılması talep edilmiştir. Raporun uygun bir şekilde çıkartıldığı görülmüştür. Bununla birlikte, Python programlama dili kısıtları nedeni ile rapor Word formatında alınamamıştır. Uygulamadan kopyalanan raporun Word'te tekrar düzenlenmesi veya Python kodunu çalıştırarak Word oluşturulması sağlanmıştır.

5. Aşama – Keşif-Metraj: Üçüncü bölümde hazırlanan yangın söndürme sisteminde kullanılan malzemelerin T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatlarına göre miktarlarının ve yaklaşık maliyetinin çıkarılması talep edilmiştir. 2.536.133,50 TL ile %50 doğrulukta çıkartıldığı görülmüştür.

5.3. YZ-C

Arama motoru üzerinde çalışan bu YZ aracı araştırma, akademik çalışmalar ve haber doğrulama için önerilmektedir.

1. Aşama - Mimari Proje Analizi: Yazılıma önce PDF formatında, verim alınamaması nedeni ile sonrasında DXF formatlarındaki mimari kat planı ile Tablo 1'de belirtilen yapılması beklenen işlemler aktarılmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

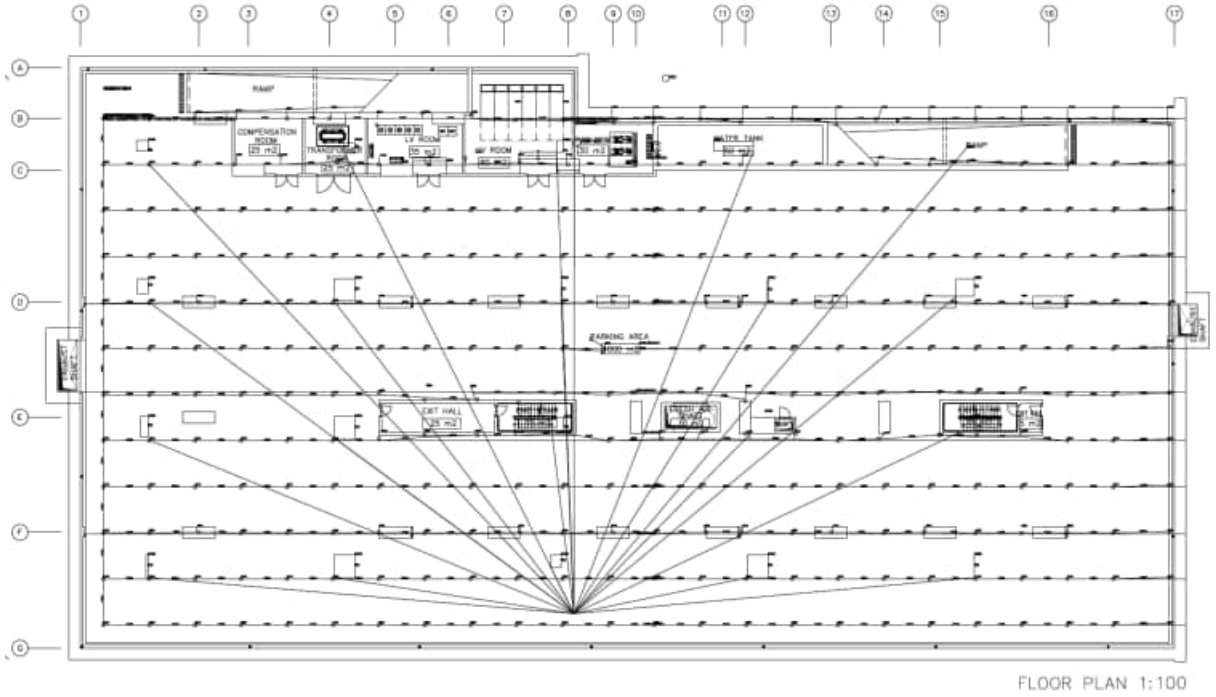
Parametre	Notlar	Sonuç
Boyutlar	Mimarideki boyut bilgileri analiz edilememiştir.	X
Yazılar	Mahal isimlerinde hatalar mevcuttur.	X
Alan	Mahal alan bilgilerinde hatalar mevcuttur. Toplam mahal sayısına bakıldığında analiz doğruluk oranı %65, toplam alana göre ise analiz doğruluk oranı %97'dir.	X
Yangın Kompartmanı	Doğru bilgi sağlanamamıştır.	X
Pompa Odası ve Su Deposu	Ön değerlendirme sonucunda yeterli olarak analiz edilmiştir.	✓

2. Aşama - Mevzuat ve Standart Analizi: Tablo 1'de belirtilen talepler yazılıma girilerek sonuçları aşağıda verilmiştir:

Parametre	Notlar	Sonuç
Tehlike Sınıfı	TS EN 12845'e göre ST2 olacağı yazılmıştır.	✓
Sprinkler	Yönetmelik kriterleri, yoğunluk (5.0 mm/dak) ve alan (144 m²) bilgisi doğru verilmiştir.	✓
Yangın Dolabı	Yönetmelik kriterleri, debi, yerleşim mesafesi vb. bilgiler doğru verilmiştir.	✓
İtfaiye Su Alma Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 94) Aralık : 60 m (BYKHY Madde 94)	✓
İtfaiye Su Verme Ağzı	Gerekliliği : Gerekli > 1000 m² (BYKHY Madde 97) Aralık : 1 Adet (BYKHY Madde 97)	✓

3. Aşama – Ekipman Yerleşimi ve Borulama Tasarımı: 1. aşamada tanıtılan mimari kat planı DXF formatında düzenlenerek 2. Aşamada belirlenen sulu yangın söndürme sistemlerinin tasarlanması için yapay zekâya aktarılmıştır. Sprinkler borulama tasarımında TS EN 12845 ön hesaplamalı sistemler ve hidrolik analiz yöntemlerinin kullanabileceği belirtilmiştir.

Yazılım hiçbir CAD formatında çizim yapamamaktadır. Bu nedenle LISP dosyası hazırlatılarak CAD programında aşağıdaki çizim elde edilebilmiştir.



Şekil 6. YZ-C tarafından hazırlanan LISP ile oluşturulan sprinkler ve yangın dolabı yerleşim planı

Sprinkler istenmeyen mahaller, bazı hatların merkezi olarak dağıtılması, çap hataları gibi LISP kodunun hataları mevcuttur.

4. Aşama – Tasarım Raporu Yazılması: İlk üç aşamada elde edilen verilerin rapora aktarılması talep edilmiştir. Rapor word dosyasına kopyalanarak aktarılmıştır. LISP'e göre oluşturulan yangın projesi DXF formatında tekrar YZ aracına aktarılmış fakat pompa basıncının belirlenebilmesi için hidrolik analiz yapamadığı görülmüştür. Bu aracın en güçlü yanının tasarım kriterlerini ve referanslarını eksiksiz doğru yazdığı söylenebilir.

5. Aşama – Keşif-Metraj: Üçüncü bölümde hazırlanan yangın söndürme sisteminde kullanılan malzemelerin T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatlarına göre miktarlarının ve yaklaşık maliye-

tinin çıkarılması talep edilmiştir. Çizimi okuyarak metraj çıkartılamadığı görülmüş bu nedenle LISP yazması talep edilmiştir. LISP'in de kısıtları nedeni ile metraj çıkartılamamıştır.

Üç YZ aracından alınan sonuçlara göre oluşturulan karşılaştırma tablosu aşağıda verilmiştir. Bu araçların dışında Claude Sonnet 5 kullanılmış fakat bu araçtan da yeterli verim alınamamıştır.

Tablo 3. YZ araçları karşılaştırma tablosu

Tasarım Aşaması		Yapay Zekâ Aracı		
No	**Tanımı**	**YZ-A**	**YZ-B**	**YZ-C**
1	Mimari proje analizi	★★★★☆	★★★★☆	★★☆☆☆
2	Mevzuat analizi, sistem seçimi	★★★★★	★★★☆☆	★★★★★
3	Ekipman yerleşimi ve borulama tasarımı	★★★☆☆	★★☆☆☆	★★☆☆☆
4	Tasarım Raporu	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆
5	Keşif ve metraj	★★★★☆	★★☆☆☆	★☆☆☆☆
Genel Ortalama		84/100	60/100	52/100

Bu çalışmada, karşılaştırılabilirliğin ve yöntemsel tutarlılığın sağlanması amacıyla tüm yapay zekâ araçlarına aynı kapsam ve içerikte girdiler sunulmuş, elde edilen sonuçlar ortak değerlendirme ölçütleri çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, yapay zekâ araçlarının ürettiği çıktıların kullanılan ana ve alt model sürümüne, sistem yapılandırmalarına, girdi ifadelerine ve değerlendirme tarihine bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Yapay zekâ teknolojilerinin sürekli ve hızlı biçimde gelişmesi nedeniyle, aynı işlemlerin günümüzde veya gelecekte tekrarlanması hâlinde bu çalışmada sunulanlardan farklı sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Bu nedenle bulgular, ilgili araçlar arasında genel, kesin veya kalıcı bir üstünlük sıralaması ya da ticari değerlendirme olarak değil; çalışmanın gerçekleştirildiği tarihte, tanımlanan koşullar altında elde edilmiş karşılaştırmalı deneysel sonuçlar olarak değerlendirilmelidir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, kapalı bir otopark yapısına ait yangın söndürme sistemi tasarımı farklı yapay zekâ araçları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, en başarılı YZ aracının dahi ürettiği çıktılarda mühendislik doğrulaması gerektiren hata ve eksikliklerin bulunduğu görülmüştür. Yangın güvenlik sistemlerinin çok disiplinli bir mühendislik yaklaşımı gerektirmesi, çok sayıda yönetmelik ve standardın birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılması ve doğrudan can ve mal güvenliğini ilgilendirmesi nedeniyle, YZ tarafından üretilen tüm çıktılarının yangın güvenliği konusunda uzman mühendisler tarafından teknik ve mevzuat açısından doğrulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bununla birlikte, YZ araçlarının özellikle ön proje ve kesin proje aşamalarında tasarım sürecini önemli ölçüde hızlandırabildiği, alternatif çözümler geliştirebildiği ve mühendislik kararlarını destekleyebildiği görülmüştür. Bu yönüyle yapay zekânın etkin bir karar destek ve mühendislik asistanı olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Dolayısıyla YZ destekli tasarım çalışmalarının başarısının, büyük ölçüde uzman mühen-

disin yönlendirmesi, doğru istemleri oluşturması ve elde edilen sonuçları teknik açıdan doğrulamasına bağlı olduğu teyit edilmiştir.

Karşılaştırmalı değerlendirme sonucunda, mimari proje analizinde YZ-B, mevzuat ve standart araştırmalarında YZ-C, teknik rapor yazımı, sistem seçimi, mühendislik değerlendirmeleri ve yaklaşık maliyet çalışmaları gibi diğer tasarım aşamalarında ise YZ-A daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Genel performans dikkate alındığında, yangın söndürme sistemi tasarım sürecine en fazla katkıyı sağlayan yapay zekâ aracının YZ-A olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise, elde edilen sonuçların kalitesinin yalnızca kullanılan YZ modeline değil, aynı zamanda istemlerin doğruluğu ve ayrıntı düzeyine de önemli ölçüde bağlı olduğudur. Tasarım sürecine ilişkin mühendislik kriterlerinin, standart referanslarının ve istenen çıktı formatının açık ve sistematik biçimde tanımlanması, daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, yangın güvenliği mühendisliği gibi uzmanlık gerektiren alanlarda standartlaştırılmış istem şablonlarının geliştirilmesinin, YZ destekli tasarım süreçlerinin doğruluğunu ve verimliliğini artıracağı değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

[1] TURING, A. M., Computing Machinery and Intelligence, Mind (A Quarterly Review of Psychology and Philosophy), 49: 433-460, 1950
[2] MCCARTHY, J., MINSKY, M. L., ROCHESTER, N., SHANNON, C. E., A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence – August 31, 1955, AI Magazine, Volume 27, Number 4, 2006
[3] https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/artificial-intelligence-market-100114
[4] ZENG, Y., LİU, X., Ding, Y., ZHENG, Z., ZHANG, T., HUANG, X., LU, X., AI-Powered Automatic Design of Fire Sprinkler Layout for Random Building Floorplans, Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience, 4, 100167, 2025
[5] ZENG, Y., ZHENG, Z., ZHANG, T., HUANG, X., LU, X., AI-Powered Fire Engineering Design and Smoke Flow Analysis for Complex-Shaped Buildings, Journal of Computational Design and Engineering, 11, 359–373, 2024
[6] ZENG, Y., ZHANG, X., SU, L., WU, X., XİNYAN H., Artificial Intelligence tool for fire safety design (IFETool): Demonstration in Large Open Spaces, Case Studies in Thermal Engineering, 40, 102483, 2022
[7] Applications Of Artificial Intelligence in Enhancing Building Fire Safety, International Journal of Science and Research Archive, 13(01), 1117–1132, 2024
[8] HUGO, J. M., AI in the Fire Sprinkler World: Why ChatEOD Outperforms Generic AI Tools, 2025 https://nfsa.org/2025/09/09/ai-in-the-fire-sprinkler-world-chat-eod/
[9] https://link.nfpa.org/
[10] https://sparcfp.com/the-role-of-artificial-intelligence-in-fire-protection-engineering/
[11] https://chatgpt.com/
[12] https://gemini.google.com/app
[13] https://claude.ai
[14] https://www.deepseek.com
[15] https://www.perplexity.ai/

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Umut Barış YILMAZ

1979 yılı Ankara doğumludur. Mersin Üniversitesi'nde Lisans, Gazi Üniversitesi'nde Isı Transferi ve Termodinamik alanında Yüksek Lisans ve Doktora eğitimi almış, "Ulaşım Yapılarında Farklı Yangın Senaryolarının Sayısal Olarak İncelenmesi" konulu tezi ile doktora programını tamamlamıştır. Yangının sayısal analizi (HAD) alanında tez, bildiri ve makale çalışmaları yapmıştır. 20 yılı aşkın süredir inşaat sektöründe ulaşım yapıları, yeşil binalar, altyapı, üstyapı ve petrol & gaz projelerinde çeşitli pozisyonlarda görev almıştır. Halen Yüksel Proje A.Ş.'de Teknik Sistemler Grup Müdürü olarak çalışmakta olan Dr. Umut Barış YILMAZ, TTMD 17. Dönem Yönetim Kurulu Üyesi görevini yürütmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNİN YANGIN GÜVENLİĞİNE KATKISI

Murat ÇALIŞ

ÖZET

Yangının başlangıç evresinde güvenilir biçimde algılanması; tahliye, müdahale ve yangının sınırlandırılması için kullanılabilir süreyi doğrudan etkiler. Bununla birlikte geleneksel algılayıcılar, tek bir fiziksel büyüklüğün eşik değerine dayanıldığında pişirmeaerosolları, su buharı, toz ve çevresel değişimler nedeniyle istenmeyen alarm üretebilir veya bazı yangın türlerine geç tepki verebilir. Bu çalışma, yapay zekâ destekli yangın algılamanın Türkiye'deki yeni periyodik yangın güvenliği kontrol yaklaşımına nasıl dâhil edilebileceğini incelemektedir. Konuyla doğrudan ilişkili araştırmalar, standartlar, teknik kılavuzlar ve güncel mevzuat nitel bir teknik incelemeyle değerlendirilmiş; çoklu algılayıcı verisi, görüntü çözümleme, zamansal örüntü tanıma ve kestirimci bakımı kapsayan bir bütünleşme ve denetim çerçevesi geliştirilmiştir. Yapay zekânın sertifikalı yangın algılama ve alarm düzeninin yerine geçen bağımsız bir karar verici değil, doğrulanmış¸ bir destek katmanı olarak konumlandırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen çerçeve; kullanım amacına özgü veri, temsil gücü yüksek sınama senaryoları, yanlış ve kaçırılmış¸ alarm ölçütleri, kayıt tutulması, insan gözetimi, siber güvenlik, sürüm yönetimi ve sahada periyodik performans doğrulamasını kapsamaktadır. Bu yaklaşımın, erken algılama ile yanlış alarm bağışlılığı arasındaki dengeyi iyileştirerek denetimlerin ölçülebilir ve izlenebilir olmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Yapay zekâ, yangın algılama, çoklu algılayıcı, görüntü çözümleme, yanlış alarm, periyodik kontrol.

THE CONTRIBUTION OF AI-POWERED FIRE DETECTION SYSTEMS TO FIRE SAFETY

ABSTRACT

Reliable detection during the incipient stage of a fire directly affects the time available for evacuation, intervention and fire containment. However, conventional detectors relying on a threshold for a single physical quantity may generate nuisance alarms due to cooking aerosols, steam, dust and environmental variations, or respond late to certain fire types. This paper examines how artificial-intelligence-assisted fire detection can be incorporated into Türkiye's new approach to periodic fire-safety inspections. Directly relevant research, standards, technical guidance and current legislation are assessed through a qualitative technical review, and an integration and inspection framework covering multisensor data, video analytics, temporal pattern recognition and predictive maintenance is developed. The main conclusion is that artificial intelligence should be positioned as a validated support layer rather than an autonomous decision-maker replacing the certified fire detection and alarm arrangement. The proposed framework includes application-specific data, representative test scenarios, false-alarm and missed-detection metrics, event logging, human oversight, cybersecurity, version control and periodic field performance verification. This approach is expected to improve the balance between early detection and nuisance-alarm immunity while making inspections measurable and traceable.

Keywords: Artificial intelligence, fire detection, multisensor, video analytics, nuisance alarm, periodic inspection.

GİRİŞ

Bir yangın güvenliği sistemi, yalnızca alarm veren cihazlardan oluşmaz; algılama, bilginin değerlendirilmesi, alarmın iletilmesi, bina içindeki güvenlik işlevlerinin başlatılması, tahliye ve müdahale süreçlerinin birlikte çalıştığı bütünleşik bir yapıdır [5,8]. Yangının daha erken ve doğru algılanması, kullanılabilir güvenli kaçış süresini artırırken söndürme ve duman kontrol sistemlerinin zamanında devreye girmesine de katkı sağlar [5]. Buna karşılık sık istenmeyen alarm üreten bir sistemin susturulması, devre dış ı bırakılması veya gerçek bir alarmın kullanıcılar tarafından önemsenmemesi mümkündür [1,6]. Bu nedenle algılama başarısı yalnızca duyarlılıkla değil, gerçek yangın ile yangın dışı olayları ayırabilme yeteneğiyle birlikte ele alınmalıdır [1].

Geleneksel noktasal duman, sıcaklık ve alev algılayıcıları uzun süredir tanımlanmış¸ deneylere, bileşen işlevlerine ve performans ölçütlerine göre kullanılmaktadır [5,8]. Çok ölçütlü algılama araştırmaları ise duman ile karbonmonoksit gibi farklı yangın belirtilerinin algoritmik olarak birleştirilmesinin, bazı deney koşullarında gerçek yangınlara tepkiyi hızlandırırken istenmeyen alarmları azaltabildiğini göstermiştir [1]. Güncel yapay zekâ yöntemleri bu yaklaşımı; kamera görüntüleri, algılayıcı zaman serileri, çevresel veriler ve sistem sağlık kayıtları üzerinde daha karmaşık örüntülerin öğrenilmesine taşımaktadır [3,4,6].

Türkiye'de 22 Mayıs 2026 tarihli ve 33261 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan 7579 sayılı Kanun ile 3194 sayılı imar Kanunu'na eklenen hükümler, kullanıma yönelik belgeye sahip yapılarda yangın güvenliği periyodik kontrolü ve yangın güvenlik raporu mekanizması getirmiştir. Düzenleme, tespit edilen eksikliklerin ilgili idarece altı ayı aşmayacak şekilde verilen sürede giderilmesini ve uygulama ayrıntılarının ikincil mevzuatla belirlenmesini öngörmektedir [2]. Bu yeni denetim yaklaşımı, yapay zekâ içeren algılama sistemleri için yalnızca ilk kabul deneyinin değil, işletme ömrü boyunca performansın izlenmesinin de düzenlenebilmesi açısından önemli bir fırsat oluşturmaktadır.

Bu bildirinin amacı yapay zekâ destekli algılamanın sağlayabileceği katkıları ve doğurabileceği yeni riskleri birlikte ortaya koymak; yeni yangın güvenliği düzenlemelerinde kullanılabilecek, teknoloji ve marka bağımsız bir
değerlendirme çerçevesi önermektir. Çalışma bir ürün karşılaştırması değildir. Öneriler; can güvenliği is¸levinin kanıtlanabilirliği, denetlenebilirliği, riskle orantılı güvence yaklaşımı ve mevcut yangın algılama düzeniyle güvenli bütünleşmesi esas alınarak geliştirilmiştir [5–8].

1. YÖNTEM VE KAPSAM

Çalışma, sistematik derleme iddiası taşımayan nitel bir teknik inceleme ve düzenleme önerisi niteliğindedir. İncelemede çok ölçütlü algılama, video tabanlı duman ve alev tanıma, yangın gelişiminin kestirimi ve elektronik güvenlik donanımlarında yapay zekâ kullanımıyla doğrudan ilis¸kili çalışmalar esas alınmıştır [1,3,4,6]. Teknik ve hukuki çerçeve için yangın algılama sistemi işlevlerini tanımlayan ISO 7240-1:2025, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu, 7579 sayılı Kanun, Avrupa Birligi Yapay Zekâ Tüzüğü ve görüntü kayıtlarına ilişkin ulusal veri koruma yaklaşımı birlikte değerlendirilmiştir [2,5,7–9].

Kaynaklardan çıkarılan bulgular; algılama başarımı, yanlış alarm bağışıklığı, arıza güvenliği, insan gözetimi, siber güvenlik, veri koruma ve yaşam döngüsü yönetimi başlıklarında karşılaştırılmıştır. Ardından yapay zekânın alarm zincirindeki yetkisine göre riskler sınıflandırılmış; tasarım, ilk kabul ve periyodik kontrol aşamalarında aranabilecek kanıtlar sentezlenmiştir. Önerilen çerçeve, belirli bir ürünün saha deneyi veya nicel bir karşılaştırması degildir; ikincil mevzuat ve teknik şartname çalışmalarına temel oluşturabilecek asgari güvence ilkelerini ortaya koymaktadır.

2. YANGIN ALGILAMADA YAPAY ZEKÂNIN iŞLEVi

2.1. Kural Tabanlı Algılamadan Öğrenen Sistemlere Geçiş

Bir eşik tabanlı algılayıcı, ölçülen büyüklük önceden belirlenmiş¸ sınırı geçtiğinde alarm üretir. Bu yöntem basit, tekrarlanabilir ve sınanabilir olmakla birlikte ortam koşullarının degişken olduğu yerlerde tek basına yetersiz kalabilir [1]. Yapay zekâ destekli yaklaşımda karar; birden çok ölçümün seviyesi, değişim hızı, aralarındaki ilişki ve belirli bir zaman penceresindeki davranışı birlikte oluşturulur [1,6]. Örneğin duman yoğunluğundaki artış, sıcaklığın yükselme hızı ve yanma gazı işareti birlikte ele alınabilir [1].

Öğrenen sistemin temel farkı, karar sınırının yalnızca mühendis tarafından açıkça yazılmış kurallardan değil, etiketlenmiş¸ verideki örüntülerden de türetilmesidir [3,4]. Bu özellik karmaşık ayrımları mümkün kılarken eğitim verisinin kapsamı, etiket doğruluğu ve gerçek kullanım ortamını temsil etmesi gibi yeni güvence gereksinimleri doğurur [3,6,7]. Modelin laboratuvar verisinde yüksek başarı göstermesi, farklı mimari geometri, havalandırma, aydınlatma, kamera açısı, yakıt türü veya kirlenme koşullarında aynı başarıyı sürdüreceğini tek başına kanıtlamaz [3]. Video tabanlı yangın algılama üzerine geniş¸ kapsamlı bir inceleme, gerçek uygulama koşullarını temsil eden verinin sınırlılığını ve genelleme sorununu temel araştırma boşlukları arasında göstermektedir [3].

2.2. Başlıca Uygulama Biçimleri

Yapay zekâ, yangın algılama zincirinde dört temel amaçla kullanılabilir:

1) Çoklu **algılayıcı birleştirme:** Duman, sıcaklık, alev ısınımı, karbonmonoksit ve ortam koşulları gibi işaretlerin ortak değerlendirilmesiyle yangın olasılığının hesaplanması [1,6].
2) **Görüntü ve video** çözümleme: Dumanın yayılımı, alevin biçimi, renk ve hareket örüntülerinin sabit veya hareketli kameralar üzerinden belirlenmesi [3]. Bu yöntem özellikle yüksek hacimli hacimler ve açık alanlarda noktasal algılayıcıları tamamlayabilir [3].
3) **Durum kestirimi:** Yangının gelişimi, dumanın olası yayılımı veya ani genel tutuşma gibi tehlikelerin Mevcut ölçümlerden kısa süreli olarak öngörülmesi. Deneysel çalışmalar, veri temelli modellerin yangın gelişimindeki kritik olaylar için erken uyarı üretebileceğ ini göstermektedir [4].
4) **Kestirimci bakım:** Algılayıcı kirlenmesi, haberleşme düzensizliği, güç kaynağ ı zayıflığ ı ve olağandışı arıza örüntülerinin alarm işlevini etkilemeden önce belirlenmesi [6].

Bu işlevlerin risk düzeyleri aynı değildir. Bakım önerisi üreten bir modelin hatası gecikmiş bir servis işlemine yol açabilirken, doğrudan alarm kararını baskılayan bir modelin hatası can güvenliğini etkileyebilir [6,7]. Bu nedenle izin verilen yetki, modelin yangın güvenliği zincirindeki konumuna ve olası hata sonucuna göre kademelendirilmelidir [6,7].

3. YANGIN GÜVENLİĞİNE BEKLENEN KATKILAR

3.1. Daha Erken ve Konuma Özgü Uyarı

Kamera görüş alanındaki küçük duman kümeleri veya birden fazla algılayıcıdaki düşük seviyeli fakat birlikte anlamlı değişimler, tekil alarm eşikleri aşılmadan önce belirlenebilir [1,3]. Böyle bir ön uyarı; görevlinin görüntüyü doğrulaması, olay yerine inceleme ekibi yönlendirmesi veya alarm hazırlık durumunun yükseltilmesi için ek süre sağlayabilir [3,6]. Bununla birlikte ön uyarı ile tahliye alarmı birbirinden açık biçimde ayrılmalı; kullanıcı arayüzü olayın doğrulanma seviyesini göstermelidir [5,6].

Adreslenebilir sistemlerde yapay zekâ, yalnızca “yangın var/yok” sonucu değil, olayın olası konumunu ve yayılım yönünü de değerlendirebilir [3,4]. Birbirine komşu algılayıcıların sıralı tepkisi ve hava akışı bilgisi, müdahale ekibine daha anlamlı bir durum resmi sunabilir [4,6]. Bu katkı, özellikle geniş ve karmaşık yapılarda ilk inceleme süresini azaltma potansiyeline sahiptir [3,6].

3.2. İstenmeyen Alarmların Azaltılması

Pişirme, su buharı, egzoz, toz ve güneş¸ yansıması gibi olaylar yangın belirtisine benzeyebilir. Çoklu işaretlerin birlikte değerlendirilmesi, tek bir algılayıcının belirsiz çıktısını bağlam içinde yorumlamaya imkân verir. Duman ve karbonmonoksit ölçümlerini birleştiren deneysel bir çalışmada, seçilen algoritma standart duman algılayıcılarına kıyasla daha çok gerçek yangın deneyini algılamış ve daha az istenmeyen alarm üretmiştir [1]. Bu sonuç her bina ve her algoritma için genellenemez; ancak çok ölçütlü kararın sağlayabileceği yararı göstermektedir.
İstenmeyen alarm azaltma hedefi, gerçek alarmı geciktirmeye dönüştürülmemelidir [1,6]. Bu nedenle modelin doğrulama ölçütleri arasında yanlış alarm oranının yanında, kaçırılmış alarm oranı ve algılama süresi de zorunlu olarak yer almalıdır [1,3,7]. Tek bir "doğruluk" yüzdesi, yangın olaylarının seyrek olduğu veri kümelerinde yanıltıcıdır; sonuçlar yangın türü, ortam ve kullanım senaryosu bazında ayrı raporlanmalıdır [3,6,7].

3.3. Denetlenebilir İşletme Ve Bakım

Yapay zekâ destekli sistem; sensör sapması, tekrarlayan arızalar, kirlenme telafisinin sınırına yaklaşılması ve iletişim kesintileri gibi durumları sürekli izleyebilir [6]. Böylece bakım yalnızca takvim aralığına değil, gözlenen durum bozulmasına da dayandırılabilir [6,8]. Periyodik kontrol sırasında olay kayıtlarının, yazılım sürümünün, model sürümünün, devre dışı bırakmaların ve bakım uyarılarının incelenmesi; sistemin kâğıt üzerindeki varlığı yerine fiilî çalışırlığının değerlendirilmesini sağlar [2,6,8].

2026 tarihli yasal düzenlemenin periyodik kontrol ve yangın güvenlik raporu yaklaşımı [2], bu kayıtların standart bir elektronik denetim çıktısına dönüştürülmesine elverişlidir. Böyle bir uygulamada kayıt biçimi teknoloji sağlayıcısından bağımsız, zaman damgalı ve sonradan değişikliklerin izlenebileceği yapıda olmalıdır [6,7].

4. ÖNERİLEN SİSTEM MİMARİSİ

Şekil 1, yapay zekâ destek katmanının mevcut yangın güvenliği işlevleriyle ilişkisini göstermektedir. Tasarımın temel ilkesi, yapay zekâ katmanındaki tek bir hatanın zorunlu alarm işlevini ortadan kaldıramamasıdır [5,6]. Sertifikalı algılayıcılar ve kontrol-gösterge düzeni, ilgili standartlarda tanımlanan temel görevlerini sürdürür [5,8]. Yapay zekâ katmanı ise ön alarm, alarm doğrulama desteği, durum bilgisi ve bakım uyarısı üretir [6]. Bir model çıktısının otomatik tahliye veya söndürme kumandasını doğrudan başlatması öngörülüyorsa, bu işlev temel sistemle aynı güvenlik ve uygunluk değerlendirmesine tabi tutulmalıdır [6,7].



Şekil 1: Yapay zekâ destekli yangın algılama için güvenli bütünleşme yaklaşımı.
Kesintisiz bağlantı zorunlu işlevleri, kesikli bağ lantı kontrollü geri bildirimi temsil etmektedir.

Verinin işlendiği yer de tasarım kararıdır. Yerel işletme, ağ bağlantısı kesildiğinde çalışmayı sürdürme ve görüntü mahremiyetini koruma avantajı sağlar [6,7]. Uzak işlem kaynakları kullanılacaksa bağlantı kaybındaki davranış¸ gecikme üst sınırı, veri güvenliği ve hizmet sürekliliği kanıtlanmalıdır [6,7]. Can güvenliği işlevi, genel amaçlı bir iletişim hizmetinin sürekliliği ne koşulsuz bağlı bırakılmamalıdır [5,6].

ISO 7240-1:2025, bina içinde ve çevresinde kurulan yangın algılama ve alarm sistemlerinin bileşen işlevleri için güncel terim ve tanımları vermektedir [5]. Yapay zekâ katmanı sisteme eklendiğinde mevcut işlev tanımları belirsizleştirilmemeli; alarm, ön alarm, arıza, devre dış¸ı ve bakım uyarısı gibi durumların anlamı açıkça korunmalıdır [5,6].

5. RİSKLER VE GÜVENCE GEREKSİNİMLERİ

5.1. Veri Temsili ve Veri Kayması

Eğitim ve sınama verisi; beklenen yakıtları, için için yanma ve alevli yanma biçimlerini, küçük ve örtülü yangınları, farklı duman renklerini, gündüz-gece koşullarını, havalandırma etkilerini ve yangın dışı benzer olayları kapsamalıdır [3,6,7]. Sadece internet görüntülerinden veya tek bir deney odasından derlenen veri, gerçek bina çeşitliliğini temsil etmeyebilir [3]. Kullanım biçimi, kamera konumu, iç düzen veya havalandırma değiştiginde veri dağılımı da değişebilir [3,6]. Model performansının zamanla bozulmasına yol açan bu durum "veri kayması" olarak izlenmeli ve yeniden doğrulama gerektiren değişiklikler önceden tanımlanmalıdır [6,7].

5.2. Açıklanabililrlik ve İnsan Gözetimi

Can güvenliğini etkileyen bir kararın yalnızca "model çıktısı" olarak sunulması yeterli değildir. Yangın güvenlik uzmanı, sistemin neden alarm, ön alarm veya arıza uyarısı ürettiğini; hangi veri kaynaklarının karara katkıda bulunduğunu ve kararın hangi yazılım ile model sürümünde verildiğini asgari düzeyde inceleyebilmelidir [6,7]. Açıklamanın amacı modelin bütün matematiksel yapısını kullanıcıya göstermek değil, kararın fiziksel yangın belirtileriyle ilişkisinin kurulabilmesini ve sonradan denetlenebilmesini sağlamaktır. Bu nedenle açıklama biçimi, sistemi kullanan görevli ile teknik inceleme yapan uzman için farklı ayrıntı düzeylerinde tasarlanmalıdır [6,7].

Görüntü tabanlı sistemlerde duman veya alev olarak değerlendirilen bölgenin görüntü üzerinde işaretlenmesine; çoklu algılayıcılı sistemlerde ise kararı etkileyen duman, sıcaklık ve gaz ölçümlerinin değerleri ile zamansal eğilimlerinin gösterilmesi açıklanabilirliği güçlendirir [3,6]. Olay kaydında veri zamanı, karar zamanı, güven düzeyi, kullanılan es¸ikler, model sürümü ve sistemin ürettiği çıktı birlikte saklanmalıdır [6,7]. Bununla birlikte bir güven puanı tek bas¸ına fiziksel kanıt veya güvenlik güvencesi değildir. Yüksek güvenle verilen hatalı kararlar mümkün olduğundan açıklama kayıtları, temsil gücü yüksek sınama ve saha performansı sonuçlarının yerine geçmemeli; onları tamamlamalıdır [3,6,7].

İnsan gözetiminin kapsamı, yapay zekânın sistem içindeki yetkisine göre belirlenmelidir. Bakım önerisi veya ön alarm üreten bir uygulamada görevli, öneriyi değerlendirebilir ve gerekçesini kaydedebilir. Buna karşılık doğ rulanmış yangın alarmının iletilmesi, tahliye uyarısının başlatılması ya da duman kontrolü gibi zaman açısından kritik güvenlik işlevleri, insan yanıtına koşulsuz olarak bağlanmamalıdır [5,6]. İnsan doğrulaması öngörülen olaylarda görevlinin rolü, eğitim düzeyi, karar yetkisi, azami yanıt süresi ve yanıt verilmediğinde uygulanacak güvenli varsayılan davranışı¸ önceden tanımlanmalıdır [6,7]. Arayüz; alarm, ön alarm, arıza ve yapay zekâ önerisini açık biçimde ayırmalı, belirsizliği kullanıcıya aktarmalı ve zaman baskısı altında anlaşılabilir olmalıdır [5–7].

İnsan gözetimi, kullanıcının yapay zekâ çıktısını biçimsel olarak onaylamasına indirgenmemelidir. Yetkili kişi sistemi geçersiz kılabilmeli, temel alarm işlevini devreye alabilmeli ve hatalı ya da kuşkulu çıktıyı inceleme için işaretleyebilmelidir [6,7]. Ancak geçersiz kılma, susturma ve devre dışı bırakma işlemleri rol tabanlı yetkilendirmeye tabi olmalı; gerekçesi, zamanı ve işlemi yapan kişi değiştirilemez olay kaydında tutulmalıdır [6,7]. Periyodik kontrolde yalnızca bu özelliklerin mevcut olup olmadığı değil, görevli eğitimleri, örnek olaylara verilen yanıtlar, müdahale süreleri ve sistem önerilerinin ne sıklıkla geçersiz kılındığı da incelenmelidir [2,6]. Böylece açıklanabilirlik ve insan gözetimi, güvenilmeyen bir modelin sorumluluğunu kullanıcıya aktaran araçlar değil, sistemin hesap verebilirliğini ve güvenli kullanımını destekleyen doğrulanabilir güvence unsurları hâline gelir.

5.3. Siber Güvenlik ve Güncelleme Yönetimi

Ağa bağlı algılayıcılar, kameralar ve güncellenebilir modeller yeni saldırı yüzeyleri oluşturur [6,7]. Yetkisiz yapılandırma değişikliği kayıtların silinmesi, görüntü akışının değiştirilmesi veya hizmet engelleme saldırısı algılama işlevini zayıflatabilir [6]. Kimlik doğrulanma, en az yetki, ağ bölümlendirme, imzalı güncelleme, güvenli önyükleme, zaman eşitleme, yedekleme ve değiştirelemez olay izi temel tedbirler arasında yer almalıdır [6,7].
Model veya yazılım güncellemesi sıradan bakım işlemi sayılmamalıdır [6,7]. Karar davranışını etkileyen her değişiklik için sürüm numarası, değişiklik gerekçesi, geriye dönük uyumluluk, sınama sonucu ve geri dönüş yöntemi kaydedilmelidir [6,7]. Güncelleme sırasında ve güncelleme başarısız olduğunda temel alarm işlevi korunmalıdır [5,6]. Elektronik güvenlik donanımlarında yapay zekâ kullanımına ilişkin güncel kamu araştırması da risk yönetimi, standart geliştirme, güvenilirlik ve uygulama bağlamının birlikte ele alınmasını önermektedir [6].

5.4. Mahremiyet ve Ölçülülük

Görüntü tabanlı yangın algılama, görüş alanındaki kişilerin görüntülerinin ve davranış¸ örüntülerinin is¸lenmesine yol açabilir [3,7,9]. Bu nedenle sistem kurulmadan önce görüntü kullanımının ilgili hacimde gerçekten gerekli olup olmadığı değerlendirilmelidir [7,9]. Aynı güvenlik sonucu duman, sıcaklık veya gaz algılayıcıları gibi daha az veri işleyen yöntemlerle sağlanabiliyorsa görüntü çözümleme yalnızca tamamlayıcı ve gerekçelendirilmiş¸ alanlarda kullanılmalıdır [5,7,9]. Kamera görüş açısı yangının belirlenmesi için gereken bölgeyle sınırlandırılmalı; kişilerin izlenmesi gerekmeyen bölümler maskeleme yoluyla kapsam dışında bırakılmalıdır [9].

Mahremiyet, sisteme sonradan eklenen bir ayar değil, tasarım ölçütü olarak ele alınmalıdır [7,9]. Mümkün olduğunda görüntü çözümlemesi cihaz üzerinde veya bina içindeki güvenli bir işlem biriminde gerçekleştirilmeli; merkezi sisteme ham görüntü yerine alarm bilgisi, olay zamanı ve sınırlı teknik üst veri aktarılmalıdır [6,7]. Sürekli kayıt yerine olay tetiklemeli kayıt tercih edilmeli ve kayıt süresi yangın güvenliği amacıyla gerekenden uzun tutulmamalıdır [7,9]. Görüntünün çözünürlüğü, kare hızı ve görüş alanı da algılama başarısı için gerekli en düşük düzeyle sınırlandırılmalıdır [3,7,9].

Kayıtlara erişim görev ve yetki esasına bağlanmalı; görüntüleme, dışa aktarma, silme ve yapılandırma is¸lemleri denetlenebilir bir olay izinde tutulmalıdır [6,7,9]. Verinin çalışan performansının izlenmesi veya davranış analizi gibi farklı amaçlarda kullanılması, yangın algılama amacı kapsamında kendiliğinden kabul edilmemelidir [9]. Modelin yeniden eğitilmesi için saha görüntülerinden yararlanılacaksa verinin hukuki dayanağı, seçimi, aktarımı, saklanması ve silinmesi ayrıca tanımlanmalıdır [7,9]. Sistemin amacı, veri akışı, saklama süresi ve sorumlu birimleri ilgili kişilere anlaşılır biçimde açıklanmalıdır [9].

Ölçülülük değerlendirmesi, mahremiyet ile can güvenliğini birbirinin alternatifi olarak görmemelidir [6,7]. Olay öncesinde veri toplamayı en aza indiren sistem, gerçek bir alarm sırasında olayın doğrulanması ve teknik inceleme için gerekli kayıtları koruyabilir [6,7]. Bununla birlikte mahremiyet gerekçesiyle algılama kanıtının tamamen ortadan kaldırılması da sınırsız gözetim yapılması da uygun değildir. Periyodik kontrolde kamera görüş alanı, kayıt davranışı, erişim yetkileri, saklama süresi ve sistemin sonradan başka amaçlara genişletilip genişletilmediği birlikte incelenmelidir [2,7].

6. YENİ YANGIN DÜZENLEMESİ İÇİN ÖNERİLEN HÜKÜMLER

Yeni periyodik kontrol sisteminin ikincil mevzuatında yapay zekâ içeren yangın algılama is¸levlerinin açıkça tanımlanması önerilmektedir [2,8]. “Akıllı”, “ögrenen” veya “yapay zekâ destekli” ifadesi tek başına performans kanıtı sayılmamalıdır [6]. Düzenleme, sistemin hangi kararı verdiğine ve bu kararın can güvenliği üzerindeki etkisine odaklanmalıdır [6,7].

Tablo 1, tasarım, kabul ve periyodik kontrol aşamalarında aranabilecek asgari kanıtları özetlemektedir.

Mevzuata aktarılabilecek temel ilkeler aşağıda sıralanmıştır:

Tablo 1: Yapay zekâ destekli algılama için önerilen denetim kanıtları.

Denetim alanı	İlk tasarım ve kabul	Periyodik kontrol
Amaç ve yetki	Kullanım senaryosu, karar türü, güvenli durum ve temel sistemle ilişki	Amaç dışı kullanım veya yetki değişikliği bulunmadığının doğrulanması
Veri ve model	Veri kaynağı, temsil kapsamı, model sürümü, bağımsız sınama kümesi	Veri kayması göstergeleri, yeni çevresel koşullar ve sürüm geçmişi
Performans	Yangın türüne göre algılama süresi, kaçırılmış alarm, yanlış alarm ve belirsizlik	Olay kayıtlarından saha oranları; seçilmiş¸ senaryolarla işlev deneyi
Bütünleşme	Bağlantı kaybı, güç kesintisi, arıza ve güvenli geri dönüş deneyleri	Arayüzler, yedek güç, saat eşitleme ve alarm iletim deneyi
İnsan gözetimi	Roller, alarm doğrulama süresi, eğitim ve kullanım talimatı	Yetkili kullanıcı listesi, eğ itim kaydı ve örnek olay incelemesi
Siber güvenlik	Tehdit modeli, erişim denetimi, imzalı güncelleme ve kayıt bütünlüğü	Açık hesaplar, güncelleme durumu, yedekler ve değişiklik kayıtları
Veri koruma	İşleme amacı ve hukuki dayanak, veri minimizasyonu, erişim ve saklama planı	Görüş alanı, aydınlatma, erişim kayıtları, saklama ve imha uygulaması
Bakım	Kalibrasyon, temizlik, başarım sınırları ve geri dönüş planı	Arıza eğilimleri, devre dışı süreleri, bakım uyarıları ve düzeltici faaliyet

1) **Tamamlayıcılık:** Yapay zekâ, uygunluğu gösterilmiş¸ temel yangın algılama ve alarm işlevlerini zayıflatamaz. Temel işlevin yerine geçiyorsa aynı kapsamda uygunluk değerlendirmesine tabi olur [5,6].
2) **Riskle orantılı güvence:** Yalnızca bakım öneren, ön alarm üreten, alarmı doğrulayan ve otomatik güvenlik kumandası veren uygulamalar farklı güvence sınıflarında değerlendirilebilir [6,7].
3) Ölçülebilir **performans:** Algılama olasılığı, kaçırılmış alarm, istenmeyen alarm ve algılama süresi kullanım senaryosu bazında raporlanır; yalnızca toplam doğruluk değeri kabul edilmez [1,3,6].
4) **Ba**ğımsız **sınama:** Kabul deneyinde eğitimde kullanılmamış örnekler ve gerçek kullanım ortamını temsil eden yangın ile yangın dışı kaynaklar kullanılır [3,6,7].
5) **Değişiklik kontrolü:** Model, veri isleme, eşik, kamera görüş alanı veya algılayıcı yerleşimini etkileyen önemli değ isiklik yeniden değerlendirme başlatır [6,7].
6) **Kayıt ve izlenebilirlik:** Alarm, ön alarm, arıza, kullanıcı müdahalesi, devre dışı bırakma, güncelleme ve bakım olayları ortak bir zaman çizelgesinde saklanır [6,7].
7) **Arıza güvenliği:** Yapay zekâ katmanı, ağ veya dış hizmet kullanılamadığında sistem önceden tanımlanmış¸ güvenli çalışma biçimine geçer ve arızayı bildirir [5,6].
8) **Saha geri bildirimi:** Gerçek olaylar ve istenmeyen alarmlar sınıflandırılarak periyodik kontrol raporuna işlenir; ulusal düzeyde kimliksizleştirilmiş performans verisi biriktirilir [2,6].
9) **Kişisel verilerin korunması:** Görüntü işleme açık bir amaç ve hukuki dayanağa bağlanır; görüş alanı, kayıt süresi, erişim ve ikincil kullanım veri minimizasyonu ile ölçülülük ilkelerine göre sınırlandırılır [7,9].

Bu hükümler, belirli bir algoritmayı zorunlu kılmadan güvenlik sonucunu düzenler. Böylece teknolojik gelişmeye alan bırakılırken denetçinin talep edeceği kanıtlar ortaklaştırılır. Uluslararası yapay zekâ düzenlemelerinde güvenlik bileşeni olan yüksek riskli sistemler için vurgulanan risk yönetimi, veri yönetimi, teknik kayıt, insan gözetimi, doğruluk, sağlamlık ve siber güvenlik ilkeleri de bu çerçeveyle uyumludur [7].

7. DEĞERLENDİRME

Yapay zekâ destekli yangın algılama, özellikle geleneksel tek ölçütlü algılamanın zorlandığı değişken ortamlarda önemli bir gelişme alanıdır [1,3,6]. Ancak başarının anahtarı daha karmaşık bir model kullanmak degil, kullanım senaryosunun doğru tanımlanması ve performansın bağımsız olarak kanıtlanmasıdır.

[3,6,7]. Laboratuvar başarısı ile bina yaşam döngüsü boyunca güvenilir çalışma arasında kurulum kalitesi, bakım, kullanıcı eğitimi, çevresel değişiklikler ve yazılım yönetimi bulunmaktadır [3,6,8].

Yeni periyodik kontrol yaklaşımı bu boşluğu kapatabilir [2]. Denetim yalnızca cihazın mevcut olup olmadı ğını ve deney düğmesine tepki verip vermediğini incelemekle sınırlı kalmamalıdır [6,8]. Olay geçmişi, gerçek alarm ve istenmeyen alarm nedenleri, devre dışı süreleri, model sürümü, veri kayması, güncelleme ve siber güvenlik durumu da değerlendirilmelidir [6,7]. Böylece yangın güvenlik raporu, belirli bir tarihte alınmış¸ durağan bir belge yerine performans sürekliliğinin kanıtına dönüşür [2,6].

Öte yandan yapay zekâ "yanlış alarmı önleme" gerekçesiyle alarmı geciktiren görünmez bir süzgeç olarak kullanılmamalıdır [1,6]. Bir algılama kanalının bastırılması için gereken kanıt, ek bir ön uyarı üretilmesinden daha güçlü olmalıdır [6,7]. Tasarımda hata durumları açıkça incelenmeli; belirsizlik yükseldiğinde insanın veya temel alarm mantığının yetkisi korunmalıdır [5–7].

8. SONUÇ

Yapay zekâ; çoklu algılayıcı verisini ve görüntüdeki zamansal örüntüleri birlikte değerlendirerek yangının daha erken belirlenmesine, istenmeyen alarmların azaltılmasına, olay yerinin anlaşılmasına ve bakım gereksiniminin önceden görülmesine katkı sağlayabilir [1,3,4,6]. Bu katkı, ancak modelin gerçek kullanım koşullarında doğ rulanması ve sistemin tüm yas¸am döngüsü boyunca denetlenmesi hâlinde yangın güvenliği kazanımına dönüşür [3,6,7].

2026 yılında getirilen periyodik yangın güvenliği kontrolü ve raporlama çerçevesi, yapay zekâ destekli sistemlerin performansını düzenlemek için uygun bir temel sunmaktadır [2]. Hazırlanacak ikincil mevzuatta kullanım amacına özgü sınama, kaçırılmış ve istenmeyen alarm ölçütleri, olay kaydı, insan gözetimi, siber güvenlik, kişisel verilerin korunması, sürüm yönetimi, değişiklik sonrası yeniden doğrulama ve güvenli geri dönüş hükümlerine yer verilmelidir [2,6,7,9].

Sonuç olarak yapay zekâ, sertifikalı temel yangın algılama ve alarm düzeninin yerine koşulsuz olarak geçen bir unsur değil; kanıtlanmış¸ sınırlar içinde çalışan, arızası temel korumayı ortadan kaldırmayan ve periyodik olarak doğrulanan bir destek katmanı olarak ele alınmalıdır [5,6,8]. Bu yaklaşım, yeniliği engellemeden can güvenliği önceliğini ve mühendislik sorumluluğunu koruyacaktır [6,7].

KAYNAKLAR

[1] GOTTUK, D. T., PEATROSS, M. J., ROBY, R. J., BEYLER, C. L., Advanced fire detection using multi-signature alarm algorithms, *Fire Safety Journal*, Cilt 37, Sayı 4, s. 381–394, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0379-7112(01)00057-1.

[2] T.C. RESMÎ GAZETE, 7579 sayılı Tapu Kanunu ile Bazı Kanunlarda ve 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Deg is¸iklik Yapılmasına Dair Kanun, m. 12–15, Sayı 33261, 22 Mayıs 2026.

[3] GRAGNANIELLO, D., GRECO, A., SANSONE, C., VENTO, B., Fire and smoke detection from videos: A literature review under a novel taxonomy, *Expert Systems with Applications*, Cilt 255, 124783, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124783.

[4] WANG, J., TAM, W. C., JIA, Y., PEACOCK, R. D., RENEKE, P. A., FU, E. Y., CLEARY, T., P-Flash–A machine learning-based model for flashover prediction using recovered temperature data, *Fire Safety Journal*, Cilt 122, 103341, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103341.

[5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *ISO 7240-1:2025 Fire Detection and Alarm Systems–Part 1: General and Definitions*, Cenevre, 2025.

[6] SAMPL, C., SMITH, C., BAHRI, A., LITTLE, D., REEL, R., LIU, A., HODGES, J., FALKENSTEIN-SMITH, R., *Artificial Intelligence in the Fire Service: Considerations for Implementing Artificial Intelligence into Electronic Safety Equipment*, Özel Yayın 1500-29, 2025. DOI: https://doi.org/ 10.6028/NIST.SP.1500-29.

[7] AVRUPA PARLAMENTOSU VE KONSEYi, Yapay Zekâya ilis¸kin Uyumlas¸tırılmıs¸ Kuralları Belirleyen (AB) 2024/1689 Sayılı Tüzük, *Avrupa Birlig i Resmî Gazetesi*, 12 Temmuz 2024.

[8] T.C. ÇEVRE, S¸ EHiRCiLiK VE iKLiM DEG iS¸ iKLiG i BAKANLIG I, *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu*, Ankara, 2025.
[9] KiS¸ iSEL VERiLERi KORUMA KURUMU, *I˙s¸ Yerlerinde Güvenlik Kamerası Sistemi Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlara Dair Kamuoyu Duyurusu*, Ankara, 8 Haziran 2026.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi mezunu olan Ögr. Gör. Murat Çalış¸ özel güvenlik ve koruma alanında sektörel deneyime sahiptir. Akademik çalışmalarını yapay zekâ teknolojileri ve güvenlik uygulamaları üzerine yoğ unlaştırmaktadır. Hâlen Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak görev yapmakta; eğitim öğretim faaliyetlerinin yanı sıra disiplinler arası araştırmalarını sürdürmektedir.

YANGIN GÜVENLİĞİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMLARI

Simge ŞALCIOĞLU

Doç. Dr. Ezgi KORKMAZ

ÖZET

Yangın güvenliği, yapı tasarım sürecinde can ve mal kaybını önlemeye yönelik kritik bir disiplin olup, geleneksel olarak yönetmelikler çerçevesinde ele alınmaktadır. Ancak yapı teknolojilerindeki gelişmeler, artan tasarım karmaşıklığı ve farklı kullanım senaryoları, performansa dayalı değerlendirme yöntemlerinin önemini artırmıştır. Bu bağlamda, dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojileri, yangın güvenliği analizlerinde yeni olanaklar sunmaktadır. Özellikle yeni yangın yönetmeliklerinde, manuel kural kontrolleri yerine yapay zekâ tabanlı akıllı doğrulama ve otomasyon sistemlerinin standartlara entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerinin yangın güvenliği analizlerine sunduğu yeni imkanları ve bu teknolojilerin modern yönetmeliklere entegrasyon süreçlerini kapsamaktadır. Çalışma dahilinde; yangın senaryolarının sayısal simülasyonlar aracılığıyla analiz edilmesi, sulu söndürme sistemleri yerleşimi ile tahliye rotası gibi tasarım süreçlerinin otomatize edilme potansiyeli ve elde edilen verilerin makine öğrenmesi ile yapay zekâ yöntemleriyle işlenmesine yönelik mevcut literatür ve uygulama modelleri incelenmektedir. Çalışmanın temel amacı, yangın güvenliğinde yapay zekâ destekli değerlendirme yaklaşımlarını analiz etmektir. Bu doğrultuda çalışma, yapay zekânın yangın güvenliğinde karar destek mekanizması olarak nasıl konumlandırılabileceğini tartışarak, yeni yangın yönetmelikleri için bilimsel bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar sözcükler: Yangın güvenliği, yapay zekâ, dijitalleşme, yönetmelik

ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORTED ASSESSMENT APPROACHES IN FIRE SAFETY

ABSTRACT

Fire safety is a critical discipline that aims to prevent the loss of life and property during the building design process. Traditionally, it has been addressed within the framework of building codes and regulations. However, advancements in building technologies, increasing design complexity, and diverse usage scenarios have elevated the importance of performance-based assessment methods. In this context, digitalization and artificial intelligence (AI) offer new possibilities for fire safety analyses. Replacing manual rule checks with AI-based smart verification and automation systems in modern standards is of paramount importance. This study explores the opportunities provided by digitalization and AI, along with their integration into contemporary regulations. It examines existing literature and application models regarding fire scenario analysis via numerical simulations, the automation of design processes like sprinkler placement and evacuation routing, and data processing using machine learning. The primary objective is to analyze AI-supported assessment approaches in fire safety. By discussing how AI can serve as a decision-support mechanism, this study aims to present a scientific framework for future fire safety codes.

Key words: Fire safety, artificial intelligence, digitalization, regulation

1. GİRİŞ

Yangın güvenliği, can ve mal kayıplarını önlemeyi amaçlayan mimari tasarım sürecinin en kritik bileşenlerinden biri olup, tarihsel süreçte yönetmelikler çerçevesinde şekillenmiştir. Günümüz mimarisindeki yapısal karmaşıklık, yenilikçi kompozit malzemelerin kullanımı ve artan mekânsal doluluk oranları, sabit kurallara dayanan mevcut yönetmeliklerin uygulama sınırlarını zorlamaktadır. Bu durum, binaların gerçek yangın senaryoları altındaki davranışını merkeze alan "Performansa Dayalı Tasarım" (Performance Based Design-PBD) yaklaşımının benimsenmesini gerektirmiştir [1, 2]. Performansa dayalı tasarım süreçlerinde; yangın ve duman yayılım dinamikleri ile tahliye süresi gibi performans ölçütlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Geleneksel değerlendirme süreçleri, yüksek hesaplama maliyeti ve zaman gerektiren Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile yaya tahliye simülasyonlarına dayanmaktadır [2]. Güncel projelerin karmaşıklığı karşısında, mevzuatlara manuel uygunluk denetimi ve uzun süren geleneksel simülasyon yöntemleri, tasarım optimizasyonu süreçlerini yavaşlatmakta ve veri işleme sürekliliğini kısıtlamaktadır.

Araştırmanın temel amacı, dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerinin yangın güvenliği değerlendirme süreçlerine sunduğu olanakları ve bu teknolojilerin modern yapı mevzuatlarına entegrasyon potansiyelini güncel literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Bu doğrultuda çalışma, yapay zekânın mimari tasarım süreçlerinde yalnızca tahmin odaklı bir araç olarak değil, açıklanabilir ve karar destek sağlayan bir sistem olarak yangın güvenliği süreçlerinde nasıl konumlandırılabileceğini tartışmayı hedeflemektedir.

Belirlenen amaç doğrultusunda çalışmada sistematik literatür incelemesi ve içerik analizi yöntemi benimsenmiştir. Güncel akademik çalışmalar incelenerek üretken yapay zekâ, derin öğrenme modelleri, büyük dil modelleri ve doğal dil işleme tabanlı yaklaşımların yangın ve duman yayılım tahminleri, akıllı tahliye sistemleri ve mevzuat denetim süreçlerindeki uygulamalar literatür kapsamında değerlendirilmiştir.

Yüksek hesaplama süreleri gerektiren geleneksel yangın simülasyonlarının hızlandırılması ve yönetmelik uygunluk denetimlerinin otomatikleştirilebilmesi, yapay zekâ teknolojilerinin yangın güvenliği alanında yeni araştırma olanakları sunmaktadır. Bu kapsamda çalışma, yapay zekâ destekli değerlendirme yaklaşımlarının performansa dayalı tasarım süreçlerine entegrasyonunu bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak, dijitalleşen yangın güvenliği uygulamalarına ve gelecekte geliştirilecek akıllı mevzuat denetim sistemlerine metodolojik bir çerçeve sunmaktadır.

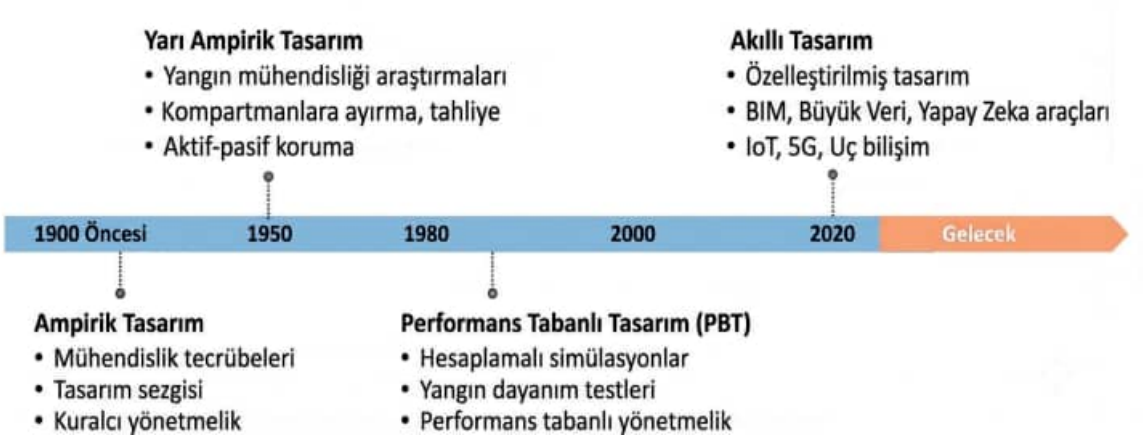
2. YANGIN GÜVENLİĞİ ANALİZLERİNDE YAPAY ZEKÂ VE MODELLEME YAKLAŞIMLARI

2.1. Geleneksel Süreçlerden Üretken Yapay Zekâya Geçiş

1900'lü yılların başlarından itibaren yangın güvenliği, ağırlıklı olarak mühendislik sezgilerine ve kesin sınırları olan yönetmeliklere dayanan ampirik ve yarı-ampirik tasarım anlayışıyla yönetilmiştir. Ancak modern mimarinin getirdiği karmaşık tasarım özellikleri ve yeni inşaat malzemelerinin üretilmesi, geleneksel tasarımın ve statik kuralların yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu teknolojik ve mimari gelişmeler, 1970'lerden 1990'ların başına kadar uzanan süreçte "Performansa Dayalı Tasarım" yaklaşımının doğmasını sağlamıştır. PBD, yıllar süren gelişiminin ardından yapı kodlarına ve düzenleyici otoritelerin mevzuatlarına kuralcı tasarımın bir tamamlayıcısı olarak entegre edilmiştir. PBD, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ve gelişmiş tahliye modelleri gibi mühendislik araçlarını kullanarak tasarımcılara esneklik sunarak, binanın özgün yangın senaryoları altında nasıl performans göstereceğini hedeflemektedir [1,3]. Bununla birlikte, performansa dayalı tasarımın onay ve uygulama süreçleri günümüzde iki temel zorlukla karşı karşıyadır:

- Yüksek Maliyet ve Zaman Kaybı: Bir PBD projesinin tasarlanması, dokümante edilmesi ve yetkili makamlar tarafından incelenip onaylanması aylar, hatta bazen yıllar sürebilen devasa bir zaman ve insan kaynağı gerektirmektedir.
- Kriterlerin Güvenilirliği: Analizlerde kullanılan kabul kriterlerinin sınırlı sayıdaki eski yangın testlerine ve simülasyonlara dayanması, yeni nesil karmaşık binalar için bu metotların geçerliliğini sorgulanır hale getirmektedir [1,3].

Yangın güvenliği yönetmelikleri ve tasarımın geldiği son evre ise, bu durumları aşmayı hedefleyen "Akıllı Tasarım" aşamasıdır. 2020'ler itibarıyla Büyük Veri, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zekâ tabanlı teknolojiler, yangın güvenliği mühendisliğine entegre olmaya başlamıştır. Geleneksel PBD'nin aylar süren CFD hesaplamalarına karşın, önceden eğitilmiş Yapay Zekâ modelleri dakikalar içinde yangın tahminleri üretebilmektedir [1,3] (Şekil 1).



Şekil 1. Yangın güvenliği yönetmeliği ve tasarım gelişimi [4]

PBD süreçlerinde bina geometrilerinin karmaşıklığı, geleneksel CFD simülasyonlarının kullanılmasını hesaplama açısından son derece yoğun ve zaman alıcı hale getirmektedir. CFD simülasyonlarının günler veya haftalar sürebilen analiz süreleri, mühendislerin yalnızca sınırlı sayıda yangın senaryosunu test edebilmesine neden olmakta ve tasarım sınırlarının tam anlamıyla keşfedilmesini kısıtlamaktadır [1,2,4]. Bu durumu aşmak amacıyla mimari tasarımda derin öğrenme ve üretken yapay zekâ modellerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

2.2 Yapay Zekâ Destekli Performansa Dayalı Tasarım: Vaka Çalışmaları ve Güncel Yaklaşımlar

Geleneksel süreçlerde karşılaşılan hesaplama zorlukları ve zaman kısıtlamaları, araştırmacıları yangın güvenliğinde yapay zekâ tabanlı yenilikçi çözümleri doğrudan vaka çalışmaları üzerinden test etmeye yöneltmiştir. Bu doğrultuda çalışmada; yapay zekâ ile duman yayılımı ve tahliye süresi gibi fiziksel dinamiklerin tahmin edilmesinden, otonom mevzuat uygunluk denetimlerine kadar uzanan süreçlerde farklı derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı somut vaka çalışmaları incelenmektedir.

Ling-chu Su vd. (2021) çalışmalarında, geleneksel PBD yöntemleri ile eğitilmiş bir yapay zekâ modelinin etkinliklerini karşılaştırmak amacıyla atriyum yangınlarında duman hareketinin ve mevcut güvenli kaçış süresinin tahmin edilmesi üzerine çok katılımlı karşılaştırma deneyi tasarlamış ve farklı tecrübe seviyelerine sahip altı yangın mühendisi/uzmanı deneye davet edilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, ilk aşamada uzmanlardan kısa süre içinde sadece sezgilerine dayanarak tahmin yapmaları istendiğinde, uzmanlar yangın boyutu veya atriyum hacmi gibi parametreleri değerlendirirken kararsız kalmış ve tutarsız, birbirinden oldukça farklı yargılara varmışlardır. Bunun üzerine uzmanlar, kendi seçtikleri parametrelerle (hesaplama ağı boyutları, havalandırma sayısı, ısı yayılım oranları vb.) CFD yazılımlarını kullanarak simülasyonlar yürütmüşlerdir. Temel parametreler aynı olmasına rağmen, mühendislerin kişisel tasarım alışkanlıkları ve yorumları devreye girdiği için saatler veya günler süren bu detaylı simülasyonların sonuçlarında da büyük tutarsızlıklar görülmüştür. Daha sonra aynı yangın vakaları, geliştirilen Transposed Convolutional Neural Network (TCNN) yapay zekâ modeli ile test edilmiştir. Yapay zekâ modeli, söz konusu yangın vakalarını saniyeler veya dakikalar içinde analiz etmiştir. Sonuç olarak, uzmanların günlerce uğraşıp kişisel yorumlar nedeniyle çelişkili bulgular elde ettiği durumlarda, yapay zekânın duman tabakası yüksekliğini ve mevcut güvenli kaçış süresi değerini tutarlı, hızlı ve doğru bir biçimde tahmin edebildiği ve CFD simülasyonları ile tamamen aynı sonucu ürettiği görülmüştür [3].

Yanfu Zeng ve Xinyan Huang (2024) çalışmalarında, binalarda yangın güvenliği tasarımını geliştirmek ama-

cıyla yapay zekâ kullanımını ve bu doğrultuda geliştirilen IFETool adlı yazılımı tanıtmaktadır. Yapay zekâ destekli bu aracın kullanımının, geleneksel yöntemlerle günlerce süren hesaplama ve doğrulama analizlerini saniyelere indirgeyerek projelerde büyük bir zaman ve kaynak tasarrufu sağladığı, insan müdahalesini ve tecrübe farklılıklarından kaynaklanan öznelliği en aza indirerek denetim otoritelerinin (AHJ) incelemesini kolaylaştıran tutarlı ve nesnel sonuçlar ürettiği söylenmiştir [1].

Yanfu Zeng vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada, geniş açık alanlara ve karmaşık geometrilere sahip binalarda yangın güvenliği süreçlerini hızlandırmak ve otomatikleştirmek için yapay zekânın nasıl kullanılabileceği incelenmektedir. Yıldız, silindir, piramit gibi farklı karmaşıklık düzeylerine sahip, 60 metre yüksekliğe ve 22.400 m³ hacme kadar ulaşan 26 farklı atriyum tasarımı ve 52 farklı yangın senaryosu GAN tabanlı pix2pix modeli ve Difüzyon Modeli üretken yapay zekâ modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Duman yoğunluğunu ve mevcut güvenli kaçış süresini tahmin etmede GAN modelinde %90, difüzyon modelinde ise %92 gibi çok yüksek bir doğruluk oranına ulaşılmıştır [2].

Rianto vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada, karmaşık mimari yapılarda yangın sırasındaki duman ve sıcaklık yayılımını çok hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etmek için üretken yapay zekâ modellerinin nasıl kullanılabileceğini araştırmak amacıyla araştırmacılar; L tipi, T tipi, çapraz ve kavisli duvarlara sahip 30 farklı gerçekçi bina planı üzerinden 60 farklı yangın senaryosu (CFD kullanarak) oluşturmuştur. Bu veri seti kullanılarak üç farklı görüntü tabanlı üretken yapay zekâ modeli kullanılmıştır: GAN tabanlı pix2pix modeli, daha yüksek çözünürlüklü sonuçlar için pix2pixHD modeli, rastgele gürültüyü gidererek görüntü oluşturan Difüzyon Modeli. Geleneksel CFD simülasyonlarında analiz süresi, bina boyutuna bağlı olarak 5 ile 24 saat arasında sürerken, yapay zekâ modelleri bu süreyi önemli ölçüde düşürmüştür. Pix2pix modeli sadece 5 saniyede, pix2pixHD 15 saniyede, difüzyon modeli ise 5 dakikada sonuç üretmiştir. Üstelik bu süre bina büyüklüğünden bağımsızdır. Tüm yapay zekâ modelleri, duman yoğunluğu ve sıcaklık dağılımını tahmin etmede %90'ın üzerinde doğruluk oranına ulaşmıştır. Özellikle difüzyon modeli duman yayılımında %96,1 doğrulukla CFD sonuçlarına en yakın ve en detaylı tahmini sunmuştur. GAN modelleri biraz daha az detay yakalasa da hız farklarıyla öne çıkmıştır [4].

Literatürde, yenilikçi teknolojilerin yangın algılama, havalandırma optimizasyonu ve akıllı tahliye süreçlerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Gelişmiş duman tespiti ve görüntü işleme çalışmalarında erken ve doğru duman tespiti konusunda hibrit algoritmalar ve görüntü işleme teknikleri öne çıkmaktadır. Xiao vd., akıllı binalarda GA-BPNN ve PSO-LSSVM gibi hibrit algoritmaları kullanarak farklı iç mekân yangın türlerinde %96'nın üzerinde bir doğrulukla erken duman ve yangın tespiti yapabilen sensör füzyonu tabanlı bir model önermiştir [5]. Veri güvenliği ve makine öğrenmesini bir araya getiren Berkani vd., giyilebilir sensör verilerini işleyen, veri gizliliğini koruyan öğrenme tabanlı modelleriyle akıllı binalar için %99,97 gibi son derece yüksek bir algılama doğruluğuna ulaşmışlardır [6]. Daha düşük maliyetli donanımlı ortamlar için Mutar ve Dway, ortamın gri ve şeffaflık özelliklerini analiz eden hafif bir görüntü işleme algoritması ile %92,6 oranında başarı sağlayan erken uyarı sistemini tanıtırken; Huang, ulaşım hatları ve otonom sistemler için geliştirdiği bulanık öngörücü kontrol tabanlı duman alarm sistemiyle tepki süresini 1.1 saniyeye düşürerek %97,8 oranında doğruluk elde etmiştir [7,8]. Tahliye anında kurtarma ekiplerine kritik veri sağlamak amacıyla Saini ve vd., standart kameralara entegre edilen YOLO tabanlı gerçek zamanlı nesne algılama sistemiyle bilinci açık ve bilinci kapalı bireyleri yüksek doğrulukla ayırt edebilen bir çerçeve geliştirmiştir [9].

Yangın anında dumanın yayılımını kontrol altına almak ve havalandırma sistemlerini dinamik olarak yönetmek amacıyla da yapay zekâ modellerinden yararlanılmaktadır. Zhang ve Geng, geniş kapalı alanlarda yapay zekâ destekli melez havalandırma kontrolünü incelemiş; fan hızları ve havalandırma açıklıklarının yapay zekâ aracılığıyla gerçek zamanlı olarak ayarlanmasının duman tahliyesini statik yöntemlere göre yaklaşık %25 oranında iyileştirdiğini göstermiştir [10]. Karmaşık mimari alanlara odaklanan Khan ve vd. ise asma tavanlı binalar için geliştirdikleri derin öğrenme tabanlı model ile yangının ve dumanın tavan boşluklarına nasıl yayılacağını, dedektör ve sulu söndürme sistemlerinin ne zaman aktifleşeceğini öngörmüş ve "Mevcut Güvenli Kaçış Süresi" (ASET) marjlarını hesaplayarak akıllı yangınla mücadele stratejilerine katkı sunmuştur [11].

Tahliye süreçlerinin optimizasyonunda IoT verileri ve yol bulma algoritmalarının birleşimi dikkat çeken bir diğer araştırma alanıdır. Jiang, IoT sensör verilerini kullanarak geliştirilmiş algoritma ile kaçış rotalarını duman ve yangın koşullarına göre dinamik olarak güncelleyen bir model sunmuştur [12]. Benzer bir yaklaşımla Ji vd., hücresel otomatlar ve IoT altyapısını birleştirerek tasarladıkları gerçek zamanlı tahliye yönlendirme sistemiyle, karmaşık ortamlarda tahliye süresini %72'ye kadar azaltmayı başarmıştır [13]. Kalabalık yapılar için spesifik çözümler üreten Yen vd. insanları duman maruziyetine ve yoğunluğuna göre gruplandırıp önceliklendiren "duman farkındalıklı" tahliye algoritmaları geliştirmiştir [14]. Hem tahliye hem de enerji verimliliğini bir arada ele alan Mohammadiounotikandi vd. ise doğadan ilham alan algoritmalarla (EPC-PSO) IoT altyapısını kullanarak tahliye rotalarını optimize ederken, sistemin normal çalışma koşullarında enerji tüketimini %12 oranında azalttığını tespit etmiştir. [15].

Purushotham vd. (2026) çalışmalarında, BIM ve Doğal Dil İşleme (NLP) teknolojilerini entegre eden çok aşamalı yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Sistem ilk olarak, karmaşık ve doğal dille yazılmış Uluslararası Bina Kodlarını (IBC) çeşitli NLP teknikleriyle ayrıştırarak makine tarafından okunabilir matematiksel denklemlere ve yapılandırılmış kural setlerine dönüştürmektedir. Literatürdeki mevcut yaklaşımlardan farklı olarak bu model, kuralları ve mekânsal ilişkileri tanımlamak için IFC standardındaki "mekân" kavramını temel ontolojik odak olarak belirlemiş ve tasarımdaki kuralları mekânsal parametreler üzerinden mantıksal bir hiyerarşiye oturtmuştur. Sistemin şeffaflığını ve güvenilirliğini artırmak amacıyla tam otomasyon yerine, uzmanların istisnaları denetleyebildiği "insan-makine iş birliği" yaklaşımı benimsenmiştir. Önerilen modelin etkinliği, güncel bir dil modeli olan ChatGPT-4.0 ve ticari bir yazılım olan Solibri ile yapılan karşılaştırmalı analizlerle test edilmiştir. Elde edilen bulgular, ChatGPT'nin iç içe geçmiş kural mantığını ve mesafe birimlerini kavramada yetersiz kaldığını; kesinlik gerektiren denetimlerde hatalı çıkarımlar (halüsinasyon) üreterek güvenilirliğini yitirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde Solibri yazılımının da belirli istisnai durumlarda kısıtlı kalarak hatalar verdiği gözlemlenmiştir. Buna karşın, geliştirilen modelin karmaşık kuralları ve istisnaları çözümlemede, uzmanlar tarafından hazırlanan referans veri setine kıyasla %95 oranında yüksek bir doğruluğa ulaştığı kanıtlanmıştır [16].

Yangın güvenliğinde yapay zekâ destekli değerlendirme yaklaşımları, geleneksel manuel denetim süreçlerini makine tarafından okunabilir ve otomatik uyumluluk kontrolü (ACC) sistemlerine dönüştürerek literatürde giderek daha geniş bir yer tutmaktadır. Güncel çalışmalar, özellikle doğal dil işleme ve büyük dil modellerinin (LLM) karmaşık yönetmelik metinlerini yapılandırılmış kurallara dönüştürmedeki rolüne odaklanmaktadır [17]. Örneğin, Wang vd. Çin bina tasarım kodlarından (GB50016-2014) yangın güvenliği kurallarını NLP teknikleriyle çıkararak doğrudan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) geometrisi üzerinde test eden bir çerçeve önermişlerdir. Benzer şekilde, doğal dil sorgularını ve BIM verilerini birbirine entegre eden çalışmalar kapsamında, Revit gibi tasarım platformları içinde ChatGPT kullanılarak çalıştırılabilir Python komut dosyaları üreten LLM tabanlı yaklaşımların geliştirildiği görülmektedir. Kural karmaşasını ve semantik bilgi uyumsuzluklarını gidermek amacıyla ontoloji tabanlı yapay zekâ modelleri de literatürde öne çıkmaktadır [18]. Fitkau ve Hartmann tarafından geliştirilen Yangın Güvenliği Ontolojisi (FiSa), yapısal yangın güvenliği gereksinimleri bağlamında madde düzeyindeki yükümlülükleri otomatik olarak anlamlandırmak ve çıkarmak için kullanılmıştır. Bu tür ontolojik altyapıların, yalnızca erken tasarım aşamasında değil, literatürde nispeten daha az ele alınan inşaat sonrası işletme ve bakım (O&M) aşamalarındaki güvenlik gereksinimlerinin doğrulanması için de sağlam bir temel oluşturduğu vurgulanmaktadır. Farklı ulusal yangın yönetmeliklerinin denetlenmesinde, görsel programlama araçları ve algoritmalar aracılığıyla doğrudan 3D BIM modelleri üzerinde geometrik ve mekânsal kontroller sağlayan çalışmalar dikkat çekmektedir [19]. Kincelova ve arkadaşları, Kanada'nın ulusal ve yerel yönetmelikleri kapsamında yüksek ahşap yapılar için BIM tabanlı otomatik yangın güvenliği doğrulaması gerçekleştirmişlerdir [20]. Fischer ve ekibi ise Avusturya'nın yangına dayanıklılık düzenlemeleri doğrultusunda kaçış rotası analizlerini otomatikleştirmek üzere Bilgi Teslim Şartnamesi (IDS) çerçevesini uyarlamışlardır. Ayrıca, Malezya yönetmeliklerindeki 256 yangın güvenliği maddesini analiz eden ve Singapur gibi ülkelerdeki kural mantıklarını değerlendiren araştırmalarda, BIM ortamında Dynamo tabanlı komut dosyaları kullanılarak otomatik yangın güvenliği kontrolleri sağlanmıştır [21].

Akıllı bina teknolojilerindeki ve yapay zekâ modellerindeki hızlı ilerlemeler, ulusal yangın güvenliği mevzuatlarının bu yeni dijital ekosistemlere entegre olmasına yol açmaktadır. Bu dönüşüm sürecini inceleyen Konopski vd. yayımladıkları iki farklı çalışmada, gelişmiş ülkelerdeki yangın güvenliği mevzuatlarını dijital teknolojiler (BIM, Dijital İkizler, Yapay Zekâ ve IoT) penceresinden değerlendirmiştir. Çalışmalarda incelenen ülkelerin yangın güvenliği mevzuatları, dijital teknolojilere adaptasyonları ve kurumsal yaklaşımları şu şekilde değerlendirilmiştir [22,23]:

- Japonya: Japonya, mühendislik analizleriyle doğrulanan performansa dayalı tasarım (PBD) süreçlerinin yerleşik olduğu, oldukça katı ancak operasyonel açıdan esnek bir yangın güvenliği sistemine sahiptir. Bina denetimlerinde sensör ağları, yapay zekâ destekli anormallik tespiti ve BIM (Bina Bilgi Modellemesi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Japonya, bina düzeyindeki güvenlik sistemlerini kentsel veri platformlarıyla birleştirerek akıllı şehir entegrasyonunda öne çıkan bir lider olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca geçmişteki kazalardan ders çıkararak mevzuatını sürekli güncelleyen dinamik bir yapıya sahiptir.
- Çin: Çin'in sistemi, ulusal kanunlar ve katı teknik yönetmeliklerle işleyen çok katmanlı bir yapıya dayanmaktadır. Özellikle yüksek ve karmaşık binalarda performansa dayalı tasarım kullanımının hızla arttığı, hızla modernleşen ve dijitalleşen bir rejim olarak tanımlanmaktadır. Büyük metropol alanlarında yapay zekâ kameraları, dijital ikizler, dronelar ve robotik sistemler operasyonel kararları desteklemek üzere kentsel yangın yönetimi ekosistemine entegre edilmektedir.
- Amerika Birleşik Devletleri (ABD): ABD, ülke çapında tek bir standart yerine yerel otoritelerin kabul ettiği model kodlara (ICC, NFPA vb.) dayalı, merkezi olmayan bir ekosisteme sahiptir. Sistemin ademi merkeziyetçi yapısı, bölgeler arasında dijital araçların benimsenmesinde ve yeni nesil teknolojilerin uygulanmasında büyük farklılıklara ve eşitsizliklere yol açmaktadır. Ayrıca ABD mevzuatında; kentsel-kırsal alan kesişimindeki orman yangını riskleri, teknolojik gelişmeleri (dronelar, uydu görüntüleri, veri birleştirme vb.) ve acil durum planlamasını şekillendiren en önemli unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.
- Avrupa Birliği (AB) ve Birleşik Krallık (İngiltere): AB sistemi, uyumlaştırılmış teknik standartlar (EN/ISO vb.) ve sınıflandırmalar üzerinden ortak bir dil yaratarak güçlü bir harmonizasyon sergiler. Özellikle İngiltere'de yaşanan Grenfell Tower yangını felaketinin ardından, AB ve İngiltere mevzuatında bina güvenliğine dair hesap verebilirlik, izlenebilirlik ve dijital belgeleme süreçleri çok daha sıkı bir hale getirilmiştir. Bunun yanında akıllı bina sistemlerinin siber-fiziksel risklerini yönetmek amacıyla, siber güvenlik ve veri koruma standartları yangın yönetmeliklerinin ayrılmaz bir parçası olarak görülmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan araştırmalar; kullandıkları yapay zekâ modelleri, entegre edilen programlar ve elde edilen temel çıktılar bağlamında tek bir tabloda toplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Yangın güvenliğinde yapay zekâ uygulamaları

Yazar	Kullanılan Yapay Zekâ Desteği / Modeli	Entegre Edilen / Kullanılan Programlar	Elde Edilen Sonuçlar / Temel Çıktılar
Yanfu Zeng ve X. Huang [1]	Yapay Zekâ	IFETool	Günler süren hesaplama analizlerini saniyelere indirgemiş, denetim otoriteleri (AHJ) için insan müdahalesinden arınmış nesnel sonuçlar sağlamıştır.

Tablo 1. Yangın güvenliğinde yapay zekâ uygulamaları (devamı)

Yazar	**Kullanılan Yapay Zekâ Desteği / Modeli**	**Entegre Edilen / Kullanılan Programlar**	**Elde Edilen Sonuçlar / Temel Çıktılar**
Yanfu Zeng vd. [2]	Üretken YZ: GAN (pix2pix) ve Difüzyon Modeli	Geniş açık alan / atriyum modelleri	26 farklı tasarımda; duman yoğunluğu ve kaçış süresi tahmininde GAN modeli %90, Difüzyon modeli %92 doğruluk oranına ulaşmıştır.
Ling-chu Su vd. [3]	Transposed Convolutional Neural Network (TCNN)	CFD yazılımları	Uzman yorumlarından kaynaklı tutarsızlıkları gidererek, duman tabakası yüksekliği ve kaçış süresini saniyeler içinde CFD ile aynı doğrulukta tahmin etmiştir.
Rianto vd. [4]	Üretken YZ: GAN (pix2pix, pix2pixHD), Difüzyon Modeli	CFD simülasyonları	5-24 saatlik analiz sürelerini saniyelere ve dakikalara düşürmüş; difüzyon modeli duman yayılımında %96,1 doğruluk sağlamıştır.
Xiao vd. [5]	Hibrit algoritmalar (GA-BPNN, PSO-LSSVM)	Akıllı binalarda sensör sistemleri	Farklı iç mekân yangın türlerinde %96'nın üzerinde bir doğrulukla erken duman ve yangın tespiti yapılmıştır.
Berkani vd. [6]	Makine öğrenmesi tabanlı modeller	Akıllı binalarda sensör sistemleri	Akıllı binalar için veri gizliliğini koruyarak %99,97 oranında algılama doğruluğuna ulaşılmıştır.
Mutar ve Dway [7]	Görüntü işleme algoritmaları	Düşük maliyetli donanımlar	Gri ve şeffaflık özelliklerini analiz eden erken uyarı sisteminde %92,6 başarı sağlanmıştır.
Huang [8]	Fuzzy predictive control	Ulaşım hatları ve otonom sistemler	Duman alarmı tepki süresi 1.1 saniyeye düşürülerek %97,8 doğruluk elde edilmiştir.
Saini vd. [9]	YOLO tabanlı gerçek zamanlı nesne algılama	Standart kamera sistemleri	Bilinci açık ve kapalı bireylerin yüksek doğrulukla ayırt edilmesiyle kurtarma ekiplerine kritik veri sağlanmıştır.
Zhang ve Geng [10]	YZ destekli algoritmalar	Havalandırma	Duman tahliyesi, statik yöntemlere kıyasla yaklaşık %25 oranında iyileştirilmiştir.
Khan vd. [11]	Derin öğrenme	Dedektör ve sprinkler sistemleri	Asma tavanlarda duman/yangın yayılımı ve ASET (Mevcut Güvenli Kaçış Süresi) marjları başarıyla öngörülmüştür.
Jiang [12]	Geliştirilmiş YZ algoritması	IoT sensör verileri	Kaçış rotaları duman ve yangın koşullarına göre dinamik olarak güncellenmiştir.
Ji vd. [13]	Hücresel otomatlar (Cellular automata)	IoT altyapısı	Karmaşık ortamlarda gerçek zamanlı tahliye yönlendirmesi ile tahliye süresi %72'ye kadar azaltılmıştır.
Yen vd. [14]	"Duman farkındalıklı" tahliye algoritmaları	Yoğun kalabalık modelleri	İnsanlar duman maruziyetine ve yoğunluğuna göre gruplandırılarak öncelikli tahliye sağlanmıştır.

Tablo 1. Yangın güvenliğinde yapay zekâ uygulamaları (devamı)

Yazar	Kullanılan Yapay Zekâ Desteği / Modeli	Entegre Edilen / Kullanılan Programlar	Elde Edilen Sonuçlar / Temel Çıktılar
Mohammadiounotikandi vd. [15]	Doğadan ilham alan algoritmalar (EPC-PSO)	IoT altyapısı	Tahliye rotaları optimize edilirken, normal işletme koşullarında enerji tüketimi %12 azaltılmıştır.
Purushotham vd. [16]	Doğal Dil İşleme (NLP), Büyük Dil Modeli (LLM)	BIM, IFC, Solibri, ChatGPT-4.0 Revit, çalıştırılabilir Python komut dosyaları	Kural mantığını kavramada yetersiz kalan ChatGPT'ye karşı, geliştirilen model istisnaları çözümlemede %95 oranında doğruluğa ulaşmıştır. Tasarım platformları içinde doğal dil sorguları ile otomatik komut üretimi sağlanmıştır.
Wang vd. [18]	Doğal Dil İşleme (NLP)	BIM	Çin bina yönetmeliği kuralları metinden çıkarılarak BIM geometrisi üzerinde doğrudan test edilmiştir.
Fitkau ve Hartmann [19]	Ontoloji tabanlı YZ (FiSa - Yangın Güvenliği Ontolojisi)	-	Tasarımın yanı sıra işletme ve bakım aşamalarında güvenlik gereksinimlerinin otomatik çıkarımı sağlanmıştır.
Kincelova vd [20]	Görsel programlama araçları ve algoritmalar	3D BIM, Bilgi Teslim Şartnamesi (IDS)	Kanada ve Avusturya yönetmeliklerine göre yüksek ahşap yapılar ve kaçış rotalarının geometrik kontrolleri otomatikleştirilmiştir.
Fischer vd. [21]	Algoritmalar (Dynamo vb. komut dosyaları)	BIM	256 yangın güvenlik maddesi üzerinden otomatik uygunluk denetimleri gerçekleştirilmiştir

Tablo 1'de özetlenen vaka çalışmaları ve yenilikçi yaklaşımlar incelendiğinde; yapay zekâ teknolojilerinin yangın güvenliğinde geleneksel sınırları aşarak tasarım, denetim ve operasyon süreçlerinde çığır açıcı optimizasyonlar sağladığı açıkça görülmektedir. Gerek üretken yapay zekâ modelleri ile haftalar süren geleneksel CFD simülasyonlarının saniyelere indirilmesi, gerekse IoT destekli algoritmalarla tahliye süreçlerinin gerçek zamanlı optimize edilmesi, tasarımdan işletme safhasına kadar çok boyutlu bir dijital dönüşüme işaret etmektedir. Benzer şekilde doğal dil işleme (NLP) ve ontoloji tabanlı modeller, yönetmelik metinlerini makine tarafından okunabilen otomatik denetim sistemlerine dönüştürerek insan kaynaklı hataları asgari düzeye indirmektedir. Ancak, bu üstün teknolojilerin can güvenliğinin kritik olduğu böylesine hayati bir disiplinde tam otonom karar destek mekanizmaları olarak entegre edilmesi beraberinde birtakım aşılması gereken problemleri de getirmektedir. Tüm bu teknolojik ivmelenmenin sahada ne kadar güvenilir olduğunu sorgulayabilmek ve performansa dayalı akıllı yönetmeliklerin geleceğini çizebilmek adına; sistemlerin eğitim verisine olan aşırı bağımlılığını, "kara kutu" problemini ve büyük dil modellerinde karşılaşılan halüsinasyon risklerini bütüncül bir yaklaşımla ele almak gerekmektedir. Bu kapsamda, araştırmanın bir sonraki aşamasında, yapay zekânın getirdiği avantajlar ve sınırlılıkların karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

3. YANGIN GÜVENLİĞİNDE YAPAY ZEKÂNIN AVANTAJLARI VE SINIRLILIKLARI

Yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojilerinin Performansa Dayalı Tasarım (PBD) ve Otomatik Uyumluluk Kontrolü (ACC) süreçlerine entegrasyonu, yangın güvenliği mühendisliğinde köklü bir paradigma değişimi yaratmaktadır. Ancak bu dijital dönüşüm, yangın güvenliği uzmanlarına benzersiz avantajlar sunarken aynı zamanda veri bilimine ve sistem mimarilerine özgü yeni teknik sınırlılıklar ile zorluklar da getirmektedir. Yapay zekâ uygulamalarının en belirgin avantajı, hesaplama hızı ve verimlilikte sağladığı dramatik artıştır. Geleneksel Performansa Dayalı Tasarım süreçlerinde yoğun olarak kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar

Dinamiği (CFD) simülasyonları, binanın boyutuna bağlı olarak günler veya haftalar sürebilen devasa hesaplama yükleri gerektirir. Buna karşın; Üretken Çekişmeli Ağlar (GAN) ve difüzyon modelleri gibi eğitilmiş derin öğrenme algoritmaları, duman yayılımı ve sıcaklık profili tahminlerini saniyeler veya dakikalar içinde üretebilmektedir. Üstelik yapay zekâ modellerinin hesaplama süresinin bina boyutundan bağımsız olması, büyük ölçekli ve karmaşık binaların analizinde benzersiz bir avantaj sunar. Bu olağanüstü hız, tasarımcıların donanım kısıtlamalarına takılmadan erken kavramsal tasarım aşamasında yüzlerce olası yangın ve tahliye senaryosunu test etmesine olanak tanıyarak aşırı maliyetlerin veya yetersiz tasarım kısıtlarının önüne geçilmesini sağlar [1-4].

Hız ve optimizasyonun yanı sıra yapay zekâ; insan hatasının azaltılması, sonuçların standartlaştırılması ve gerçek zamanlı karar destek mekanizmaları konularında da kritik fırsatlar sunar. Geleneksel manuel kod denetimi ve CFD analizleri, mühendislerin öznel yorumlarına ve kişisel modelleme alışkanlıklarına açıktır; bu durum düzenleyici otoritelerle yürütülen onay süreçlerinde tutarsızlıklara yol açar [1]. Doğal Dil İşleme tabanlı otomatik uyumluluk kontrolü sistemleri, bina kodlarını makine tarafından okunabilir semantik kurallara dönüştürerek insan kaynaklı denetim hatalarını ve yorumlama belirsizliklerini asgari düzeye indirir [16]. Öte yandan, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve sensör verileriyle beslenen yapay zekâ modelleri, yangın anında yalnızca pasif bir analiz yapmakla kalmaz. Bu akıllı sistemler dumanın yayılım yönünü tahmin eder, aktif sistemleri anlık olarak yönlendirir ve bina içindeki kalabalıklar için en güvenli, dinamik kaçış rotalarını belirleyerek gerçek zamanlı bir can güvenliği kalkanı görevi görür [24].

Tüm bu avantajlara rağmen, yapay zekâ sistemlerinin yangın güvenliğinde kullanılması eğitim verisine aşırı bağımlılık ve geometri kısıtları gibi ciddi teknik zorluklar barındırır. Yapay zekâ modellerinin tahmin yeteneği ve genellenebilirliği, tamamen eğitildikleri CFD veri tabanının çeşitliliğine bağımlıdır. Eğitim setinde yeterince temsil edilmeyen kavisli, dairesel duvarlara sahip binalarda veya dış mekânın baskın olduğu alışılmadık mimari formlarda algoritmaların doğruluk oranı hızla düşmektedir. Buna ek olarak, derin öğrenme algoritmalarının ulaştığı sonuçların arka planındaki iç karar mekanizmalarının kolayca anlaşılamaması "kara kutu" (black-box) problemini doğurur [4]. Bu şeffaflık ve açıklanabilirlik eksikliği, güvenlik otoritelerinin hesaplamaları doğrulaması ve yasal olarak makine kararlarına güven duyması önünde büyük bir engel teşkil etmektedir [1,4]. Sınırlılıklar bağlamında öne çıkan bir diğer kritik zorluk ise Büyük Dil Modellerinin ürettiği halüsinasyonlardır. Olasılıksal mantıkla çalışan yapay zekâ sistemleri, karmaşık yangın yönetmeliklerini bilgisayar kurallarına dönüştürmek için kullanıldığında, her sorguda farklı ve tutarsız yanıtlar üretebilmektedir. Mevzuat denetimi gibi hukuki kesinlik ve tekrarlanabilirlik gerektiren süreçlerde, bu modellerin mekânsal mesafeleri, çapraz referansları veya ölçü birimlerini yanlış yorumlaması (halüsinasyon) ciddi güvenlik ve yasal sorumluluk ihlallerine neden olabilir [16]. Akıllı yangın güvenlik sistemlerinin bina yönetim ağlarına (BMS) ve internete bağlanması, yaşam güvenliği altyapılarını siber saldırılara, veri ihlallerine ve bilgi teknolojileri/operasyonel teknoloji zafiyetlerine açık hale getirmektedir. Bu durum, duyarlı mimari sistemlerin ve IoT tabanlı güvenlik ağlarının sürdürülebilir şekilde işletilebilmesi için katı siber güvenlik kontrollerinin standartlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır [22].

Güncel literatür kapsamında, yapay zekâ teknolojilerinin yangın güvenliği süreçlerine sunduğu temel avantajlar ve teknik dezavantajlar Tablo 2'de özetlenmektedir.

Tablo 2. Yapay zekâ entegrasyonunun avantajları ve dezavantajları[1-6, 9]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek Hesaplama Hızı ve Verimlilik: Günler/ haftalar süren geleneksel simülasyonları saniyelere ve dakikalara indirger.	**Veri Setine Aşırı Bağımlılık:** Eğitim setinde bulunmayan (örn. kavisli duvarlar gibi) farklı mimari formlarda genellenebilirlik ve doğruluk oranı hızla düşer.
Bina Boyutundan Bağımsızlık: Analiz süresinin mekânın büyüklüğüne bağlı olmaması, karmaşık projelerde yüzlerce senaryonun test edilmesini sağlar.	**"Kara Kutu" (Black-Box) Problemi:** Derin öğrenme algoritmalarının iç karar mekanizmalarının anlaşılamaması, sistemin şeffaflığını ve resmi otoritelerin güvenini zedeler.
İnsan Hatası ve Öznelliğin Azaltılması: NLP destekli otomatik denetimler sayesinde kişisel yorumlama farklılıkları ortadan kalkar ve sonuçlar standartlaşır.	**Halüsinasyon Riski:** Yapay zekânın yanlış değerlendirme yaparak tutarsız ve hatalı sonuçlar üretmesi.
Gerçek Zamanlı Karar Destek Sistemi: IoT entegrasyonu ile yangın anında dinamik kaçış rotaları belirlenir ve aktif sistemler anlık olarak yönlendirilir.	**Siber Güvenlik Riskleri:** Akıllı yangın güvenlik ağlarının internete ve bina yönetim sistemlerine bağlanması, hayati altyapıları siber saldırılara açık hale getirir

Tablo 2'de özetlenen bulgular değerlendirildiğinde, yapay zekâ teknolojilerinin hesaplama hızı ve senaryo optimizasyonu açısından sunduğu avantajlar yadsınamaz. Ancak mimari pratiğin içinden bakıldığında; özellikle yenilikçi cephe sistemleri, karmaşık formlar ve yeni nesil malzemeler söz konusu olduğunda, standart eğitim veri setlerinin yetersiz kalması sistemlerin hata payını artırmaktadır. "Kara kutu" problemi ve dil modellerindeki halüsinasyon riski, yalnızca teknik birer algoritma kısıtlılığı değil; doğrudan can güvenliğini ve tasarımcının hukuki sorumluluğunu ilgilendiren kritik engellerdir. Bu nedenle yapay zekânın sıfır hata toleransı gerektiren yangın güvenliği alanında tek başına otonom bir karar verici olarak bırakılması mevcut şartlarda mümkün görülmemektedir. Yapay zekânın uzmanların yerini alan değil, onların kararlarını destekleyen "insan-makine iş birliği" odağında konumlandırılması hayati bir zorunluluktur.

Bu bağlamda, gelişen bu teknolojilerin yangın mevzuatlarıyla ilişkisi üzerine yeni bir yaklaşım fikri tartışmaya açılabilir. Geleneksel yangın yönetmelikleri ağırlıklı olarak kaçış mesafeleri, kompartıman sınırları veya malzeme dayanım süreleri gibi statik kurallar üzerine inşa edilmiştir. Gelecekte ise mevzuatların yalnızca fiziksel mekânı değil, yapay zekâ destekli tasarım araçlarının ürettiği sonuçların nasıl denetleneceğini de kapsayacak şekilde evrilmesi fikri önem kazanmaktadır. Yeni nesil yönetmeliklerin, otonom kararlar yerine "insan-makine iş birliğini" temel alan bir rehber çerçeve sunması düşünülebilir. Böyle bir vizyon, yapay zekânın sunduğu analitik hızdan faydalanırken nihai kararın ve hukuki sorumluluğun uzman denetiminde kalmasını sağlayarak, gelecekteki mevzuat güncellemeleri için güvenli bir fikir zemini oluşturmaktadır.

4. SONUÇ

Yangın güvenliği alanında yaşanan dijital dönüşüm, geleneksel kural temelli değerlendirme anlayışından veri odaklı, performansa dayalı ve akıllı karar destek sistemlerine doğru önemli bir paradigma değişimini beraberinde getirmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen güncel literatür, yapay zekâ destekli yöntemlerin yalnızca yangın ve duman yayılımının hızlı tahmin edilmesinde değil, aynı zamanda tahliye planlaması, risk analizi, otomatik yönetmelik uygunluk denetimi ve karar destek mekanizmalarında da yüksek bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle üretken yapay zekâ, derin öğrenme, doğal dil işleme ve büyük dil modelleri gibi teknolojilerin, geleneksel CFD tabanlı analizlerin yüksek zaman ve hesaplama maliyetlerini önemli ölçüde azaltarak tasarım süreçlerini hızlandırdığı görülmektedir. Bununla birlikte, literatürde yer alan çalışmalar yapay zekânın mevcut aşamada yangın güvenliği uzmanlarının yerini alan bir teknoloji olmaktan ziyade, uzman kararlarını destekleyen, analiz süreçlerini hızlandıran ve standartlaştıran bir yardımcı sistem olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Açıklanabilirlik problemi, büyük dil modellerinde görülen halüsinasyonlar, hukuki sorumluluklar ve siber güvenlik riskleri gibi sınırlılıklar,

yapay zekâ tabanlı sistemlerin doğrudan karar verici olarak kullanılmasını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle gelecekte geliştirilecek sistemlerde insan-makine iş birliğini esas alan hibrit yaklaşımların benimsenmesi kritik önem taşımaktadır. Çalışmada incelenen uluslararası uygulamalar, özellikle BIM, Dijital İkiz, IoT ve yapay zekâ teknolojilerinin birlikte kullanıldığı otomatik uyumluluk kontrolü sistemlerinin gelişmiş ülkelerde giderek yaygınlaştığını göstermektedir. Yönetmelik hükümlerinin makine tarafından okunabilir kurallara dönüştürülmesi sayesinde tasarım sürecinin erken aşamalarında yangın güvenliği denetimlerinin otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi hem proje kalitesini artırmakta hem de denetim süreçlerinde hız, şeffaflık ve tutarlılık sağlamaktadır.

Sonuç olarak, geleceğin yangın güvenliği yönetmeliklerinin yalnızca statik kurallar bütünü olmaktan çıkarak dijital modellerle entegre çalışan, yapay zekâ destekli, otomatik doğrulama ve sürekli güncellenebilen akıllı sistemlere dönüşmesi beklenmektedir. Türkiye'de de özellikle performansa dayalı tasarım yaklaşımının gelişimi doğrultusunda, BIM tabanlı otomatik yönetmelik kontrol sistemleri, doğal dil işleme tabanlı yönetmelik yorumlama araçları ve yapay zekâ destekli karar mekanizmalarının ulusal yangın güvenliği mevzuatına entegrasyonuna yönelik araştırmaların artırılması önem taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

[1] ZENG, Y., HUANG, X., "Interpretable Machine Learning for the Analysis, Design, Assessment, and Informed Decision Making for Civil Infrastructure", Elsevier, 2024

[2] ZENG, Y., ZHENG, Z., ZHANG, T., HUANG, X., LU, X., AI-powered fire engineering design and smoke flow analysis for complex-shaped buildings, Journal of Computational Design and Engineering, 11, 3, qwae053, 2024

[3] SU, L.-c., WU, X., ZHANG, X., HUANG, X., Smart performance-based design for building fire safety: Prediction of smoke motion via AI, Journal of Building Engineering, 43, -, 102529, 2021

[4] RIANTO, S., ZENG, Y., HUANG, X., LU, X., Generative artificial intelligence for fire scenario analysis in complex building design layouts, Fire Safety Journal, 155, -, 104427, 2025

[5] XIAO, S., WANG, S., GE, L., vd., Hybrid feature fusion-based high-sensitivity fire detection and early warning for intelligent building systems, Sensors, 23, 2, 859, 2023

[6] BERKANI, M. R. A., CHOUCHANE, A., HIMEUR, Y., vd., "International Conference on Telecommunications and Intelligent Systems (ICTIS)", IEEE, 2024

[7] MUTAR, A., DWAY, H., Smoke detection based on image processing by using grey and transparency features, J Theor Appl Inf Technol, 96, 21, 6995–7005, 2018

[8] HUANG, P., Application of fuzzy predictive control for smoke sensing alarm in automatic train driving control, IEEE Acc, 12, -, 150738, 2024

[9] SAINI, M., SENGUPTA, E., THAKUR, S., Artificial intelligence assisted IoT-fog based framework for emergency fire response in smart buildings, Clust Comput, 27, 6, 7915–7938, 2024

[10] ZHANG, Y., GENG, P., Artificial intelligence based smokeflow mechanism analysis and prediction patterns of fire for large space building, Alex Eng J, 100, -, 322–330, 2024

[11] KHAN, A. A., ZHANG, T., HUANG, X., vd., Machine learning driven smart fire safety design of false ceiling and emergency response, Process Saf Environ Prot, 177, -, 1294–1306, 2023

[12] JIANG, H., Mobile fire evacuation system for large public buildings based on artificial intelligence and IoT, IEEE Acc, 7, -, 64101–64109, 2019

[13] [JI, Y., WANG, W., ZHENG, M., vd., Real time building evacuation modeling with an improved cellular automata method and corresponding IoT system implementation, Buildings, 12, 6, 718, 2022

[14] [YEN, H. H., LIN, C. H., TSAO, H. W., Novel smoke-aware individual evacuation and congestion-aware group evacuation algorithms in IoT-enabled multi-story multiexit buildings, IEEE Acc, 10, -, 119402–119418, 2022

[15] MOHAMMADIOUNOTIKANDI, A., FAKHRULDEEN, H. F., MEQDAD, M. N., vd., A fire evacuation and control system in smart buildings based on the internet of things and a hybrid intelligent algorithm, Fire, 6, 4, 171, 2023

[16] PURUSHOTHAM, N., KAILASHNATH, C., MUTIS, I., Framework for automated building code compliance checking to improve transparency, trust, validation, and design interpretation, Automation in Construction, 181, -, 106598, 2026

[17] LEE, J. H., JI, S. Y., OSTWALD, M. J., Automated compliance checking across the building lifecycle: Systematic and semantic review integrating PRISMA and deep search, Automation in Construction, 185, -, 106859, 2026

[18] WANG, Y., LIU, Y., CAI, H., WANG, J., ZHOU, X., An automated fire code compliance checking jointly using building information models and natural language processing, Fire, 6, 9, 358, 2023

[19] FITKAU, I., HARTMANN, T., An ontology-based approach of automatic compliance checking for structural fire safety requirements, Adv. Eng. Inform., 59, -, 102314, 2024

[20] KINCELOVA, K., BOTON, C., BLANCHET, P., DAGENAIS, C., Fire safety in tall timber building: a BIM-based automated code-checking approach, Buildings, 10, -, 121, 2020

[21] FISCHER, S., SCHRANZ, C., URBAN, H., PFEIFFER, D., Automation of escape route analysis for BIM-based building code checking, Autom. Constr., 156, -, 105092, 2023

[22] KONOPSKI, P., PILCH, R., BONENBERG, W., Responsive architecture and fire safety: A comparative review of regulatory regimes in the USA, Asia, and the EU/UK, with implications for Poland in the context of BIM/DT/AI/IoT, Sustainability, 18, -, 3808, 2026

[23] KONOPSKI, P., BONENBERG, W., PILCH, R., Development of a fire safety assessment model for buildings in Poland using the Analytic Hierarchy Process: Validation through pilot study, Sustainability, 18, -, 3998, 2026

[24] [5] CUCE, P. M., CUCE, E., ALVUR, E., Emergency smoke evacuation systems in buildings in case of fire: From natural and mechanical approaches to artificial intelligence-driven strategies, Journal of Fire Sciences, 44, 3, 153–192, 2026

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

Simge Şalcıoğlu

2021 yılında İstanbul Medipol Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık bölümünden mezun olmuştur. 2022-2025 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık ABD Yapı Programında Yüksek Lisansını tamamlamış olup, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık ABD Yapı Programında Doktora eğitimine devam etmektedir. 2026 yılından itibaren FSMVÜ meslek yüksekokulu bünyesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Doç. Dr. Ezgi Korkmaz

2002 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2005 yılında İTÜ Deprem Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansını, 2012 yılında YTÜ Mimarlık, Yapı Programında Doktorasını tamamlamıştır. 2007-2017 yılları arasında YTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümün-

de araştırma görevlisi olarak, 2017-2023 yılları arasında Dr. Öğr. Üyesi, 2023 yılından itibaren de Doç. Dr. unvanı ile çalışmaktadır. Yangın güvenliği, yapı teknolojileri, yenilikçi yapı malzemeleri ve malzeme teknolojileri konularında çalışmalar yürütmekte ve TÜYAK Yangın Mühendisliği Yangın Güvenliği ve Teknolojileri Dergisinde yayın kurulunda yer almaktadır. Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı Lisansüstü Programının koordinatörlük görevini sürdüren Korkmaz, yükseköğretim kurumları ve TÜBİTAK tarafından desteklenen çeşitli araştırma projelerinde yürütücü ve araştırmacı olarak görev almaktadır.

YANGIN GÜVENLİĞİ SİSTEMLERİNDE GÜVENLİ UZAKTAN HİZMETLER: EN 50710 STANDART ANALİZİ VE CYBER RESİLİENCE ACT (CRA) ÇERÇEVESİNDE SİBER DAYANIKLILIK

Adem ÇAKIR

ÖZET

Dijital dönüşüm süreci, yangın algılama ve kontrol sistemlerini izole mekanik yapılardan, bulut tabanlı ve uzaktan yönetilebilir akıllı ağlara dönüştürmüştür. Bu dönüşümün operasyonel standartlarını belirleyen EN 50710, uzaktan hizmetlerin (Remote Services) güvenli bir çerçevede sunulması için gerekli teknik ve yönetimsel kriterleri tanımlamaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda ele alınan uzaktan erişim temelleri, günümüzün hızla değişen siber tehdit ortamında yeni bir yasal boyuta taşınmıştır.

Bu bildiri, EN 50710 standardının teknik gereksinimlerini, Avrupa Birliği'nin dijital bileşeni olan ürünler için zorunlu kıldığı Cyber Resilience Act (CRA) regülasyonu ile entegre bir şekilde analiz etmektedir. Çalışma kapsamında; uzaktan müdahale süreçlerinde "Güvenli Önyükleme" (Secure Boot), "Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama" (MFA) ve "Uçtan Uca Şifreleme" (TLS 1.3) gibi donanımsal ve yazılımsal güvenlik katmanları irdelenmektedir.

Ayrıca, uzaktan müdahale sırasında oluşabilecek kritik riskler (yetkisiz erişim, veri manipülasyonu vb.) bir FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) matrisi üzerinden değerlendirilmiş ve sahadaki "Yerel Onay" mekanizmasının siber sabotaj riskini minimize etmedeki rolü vurgulanmıştır. Bildirinin sonuç bölümünde, Türkiye'deki yangın güvenliği profesyonelleri, işletmeciler ve tasarımcılar için; hem operasyonel verimliliği (kestirimci bakım) artıran hem de yasal siber güvenlik standartlarına (CRA/CE) uyum sağlayan bütünleşik bir sistem mimarisi önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: EN 50710, Cyber Resilience Act (CRA), Siber Dayanıklılık, Uzaktan Müdahale, Yangın Algılama Sistemleri, Veri Güvenliği

SECURE REMOTE SERVİCES İN FİRE SAFETY SYSTEMS: TECHNİCAL ANALYSİS OF EN 50710 AND CYBER RESİLİENCE FROM THE PERSPECTİVE OF THE CYBER RESİLİENCE ACT (CRA)

ABSTRACT

The process of digital transformation has evolved fire detection and control systems from isolated mechanical structures into cloud-based, remotely manageable smart networks. EN 50710, which defines the operational standards of this transformation, establishes the necessary technical and administrative criteria for the secure delivery of Remote Services. The fundamentals of remote access, discussed in previous studies, have been given a new legal dimension in today's rapidly evolving cyber threat landscape.

This paper provides an integrated analysis of the technical requirements of the EN 50710 standard alongside the Cyber Resilience Act (CRA), the European Union's landmark regulation for products with digital elements. Within the scope of this study, hardware and software security layers such as "Secure Boot," "Multi-Factor Authentication" (MFA), and "End-to-End Encryption" (TLS 1.3) are examined.

Furthermore, critical risks associated with remote intervention (unauthorized access, data manipulation, etc.) are evaluated through an FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) matrix. The role of the "Local Authorization" mechanism in minimizing cyber sabotage risks is particularly emphasized. In the conclusion, an integrated system architecture is proposed for fire safety professionals, operators, and designers in Türkiye, aiming to both increase operational efficiency (predictive maintenance) and ensure compliance with mandatory legal cybersecurity standards (CRA/CE).

Key words: EN 50710, Cyber Resilience Act (CRA), Cyber Resilience, Remote Access, Fire Detection Systems, Data Security

1. GİRİŞ VE TARİHSEL GELİŞİM

1.1. Yangın Güvenlik Sistemlerinde Dijital Dönüşüm

Geleneksel yangın algılama ve alarm sistemleri, dış dünyadan tamamen izole edilmiş, kapalı devre çalışan ve saha içi fiziksel müdahale gerektiren analitik veya adresli altyapılardan oluşmaktaydı. Ancak Sanayi 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bulut bilişim mimarilerinin hızla yaygınlaşması, can ve mal güvenliğinin teminatı olan bu kritik sistemlerin de yapısını kökten değiştirmiştir. Günümüzde yangın algılama santralleri; IP tabanlı haberleşme kartları, IoT ağ geçitleri (gateway) ve bulut platformları üzerinden uzaktan izlenebilen, teşhis edilebilen ve yönetilebilen akıllı ağlara dönüşmüştür.

Bu dijital dönüşüm, işletmeciler ve teknik servisler için kestirimci bakım (predictive maintenance), arızalara anında müdahale ve operasyonel maliyetlerin optimize edilmesi gibi ciddi avantajlar sunmaktadır.

1.2. Literatürdeki Gelişim ve Yeni Siber Tehdit Boyutu

Daha önce literatürde ve ilgili bildiri çalışmalarında temel esasları ele alınan uzaktan erişim uygulamaları, yangın güvenlik altyapılarında operasyonel verimliliği ve bakım kolaylıklarını ön plana çıkarmaktaydı. Ancak geçen süre zarfında karmaşıklaşan siber tehdit peyzajı, uzaktan erişim konusunu yalnızca bir "operasyonel verimlilik" unsuru olmaktan çıkarıp doğrudan bir "kritik güvenlik ve yasal uyum" meselesine dönüştürmüştür.

Geniş alan ağlarına (WAN) ve internet ortamına açılan yangın panelleri; yetkisiz erişim, veri tahrifatı, servis dışı bırakma (DDoS) ve zararlı yazılım (malware) saldırılarına açık hale gelmektedir. Yangın algılama sistemlerine yönelik olası bir siber müdahale;

- Yanlış alarmlarla tesislerin tahliye edilmesine ve üretim hatlarının aksamasına,
- Daha da kritik olarak, gerçek bir yangın anında sistemin haberleşme altyapısını felç ederek alarm yaymasını engellemesine neden olabilir.

Bu riskler, uzaktan hizmetlerin hem uluslararası teknik standartlar hem de yeni nesil bağlayıcı yasal tüzükler çerçevesinde bütünleşik olarak yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu bildirinin temel amacı; yangın güvenlik sistemlerinde güvenli uzaktan hizmetlerin sunumu için operasyonel kriterleri belirleyen EN 50710 standardı ile Avrupa Birliği'nin dijital unsurlu ürünlere getirdiği yasal Cyber Resilience Act (CRA - Tüzük EU 2024/2847) düzenlemesini bütünleşik bir mimaride analiz etmektir.

Çalışma kapsamında;

- EN 50710 standardının tanımladığı Uzaktan Erişim Altyapısı (RAI) ve yetki hiyerarşisi,
- Güvenli Önyükleme (Secure Boot), Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama (MFA) ve TLS 1.3 gibi çok katmanlı güvenlik teknolojileri,
- Uzaktan müdahale süreçlerinin FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) matrisi ile risk değerlendirmesi ve "Yerel Onay" (Local Approval) mekanizması,
- Türkiye'deki yangın güvenliği profesyonelleri, tasarımcılar ve entegratörler için CRA/CE uyumlu bütünleşik sistem mimarisi önerileri ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

2. EN 50710 STANDARDI ÇERÇEVESİNDE GÜVENLİ UZAKTAN HİZMETLER (REMOTE SERVICES)

CEN/CENELEC tarafından yayımlanan EN 50710 (Fire safety and security systems - Requirements for the provision of secure remote services), yangın algılama ve alarm sistemlerine uzaktan erişim sağlanırken uyulması gereken mimari, operasyonel ve idari kriterleri tanımlayan temel Avrupa standardıdır. Standardın ana amacı; uzaktan sunulan hizmetlerin sistemin temel güvenlik işlevlerine zarar vermesini engellemek ve erişim süreçlerini kontrol edilebilir bir altyapıya kavuşturmaktır.

2.1. Kapsama Giren Sistemler

Aşağıdaki sistem türleri, EN 50710 kapsamındadır:

- Yangın Güvenliği Sistemleri
- Yangın algılama ve alarm sistemleri (FDAS)
- Sabit yangın söndürme sistemleri (FFFS)
- Duman ve ısı kontrol sistemleri (SHCS)
- Acil sesli uyarı sistemleri (ESS)
- Fiziki Güvenlik Sistemleri
- Hırsız alarm ve izinsiz giriş sistemleri (I&HAS)
- Elektronik geçiş kontrol sistemleri (EACS)
- Dış çevre güvenlik sistemleri (EPSS)
- Video gözetim sistemleri (VSS)
- Destekleyici Yapılar
- Sosyal alarm sistemleri
- Entegre yönetim sistemleri (BMS vb.)
- Çoklu sistemleri yöneten birleşik çözümler

2.2. Kapsam Dışı Sistemler

Aşağıdaki uygulamalar bu standardın kapsamı dışındadır:

- Yalnızca yerinde yürütülen servis faaliyetleri (uzaktan bağlantı içermeyen işlemler)
- EN 50518 kapsamında tanımlanmış MARC (Monitoring and Alarm Receiving Centre) tarafından sağlanan hizmetler

2.3. Uzaktan Erişim Altyapısı (RAI) Mimarisi

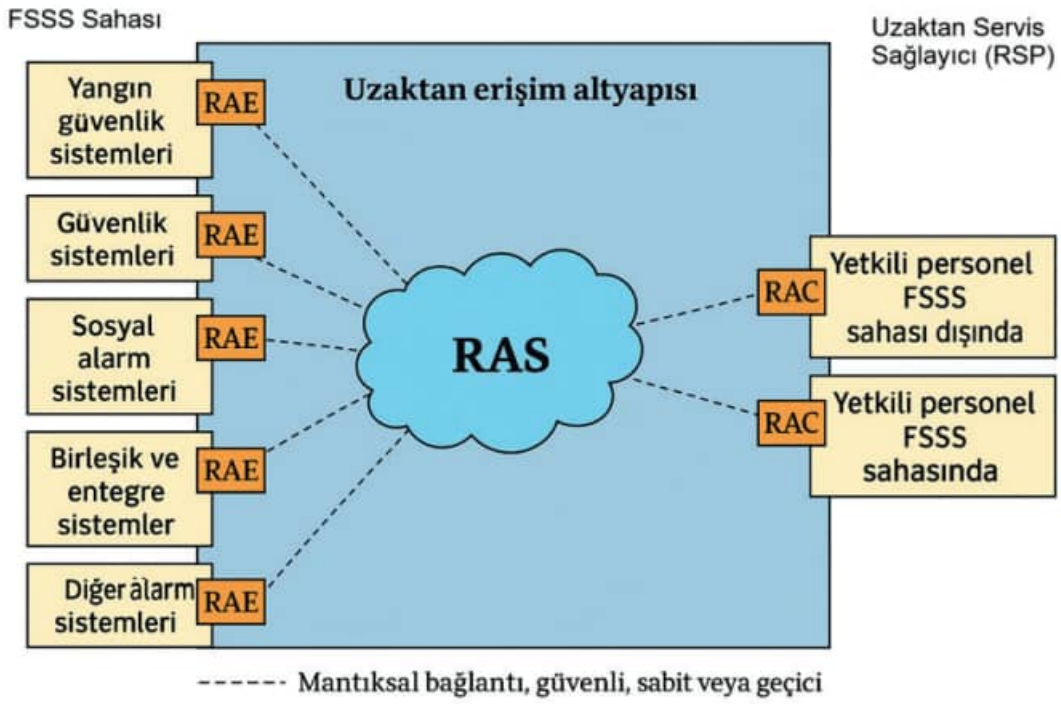
EN 50710 standardının kalbinde Uzaktan Erişim Altyapısı (Remote Access Infrastructure - RAI) kavramı yer alır. RAI, sahadaki yangın algılama paneli ile uzaktan hizmet sunan servis teknik personeli veya bulut platformu arasındaki tüm iletişim köprüsünü kapsar.

RAI mimarisinin güvenli kabul edilebilmesi için şu üç temel bileşenin entegrasyonu şarttır:

- Saha Tarafı (SPT / Panel): Yangın alarm santralinin dış ağa bağlandığı Sinyal İletim Ekipmanı (SPT) veya IP haberleşme arayüzü.
- Uzaktan Erişim Sunucusu (RAS): Erişim isteklerini karşılayan, kimlik doğrulayan, trafik yönlendiren ve güvenli tünelleri yöneten merkezi altyapı.
- Servis İstemcisi (Client): Servis mühendisinin veya teknik personelin kullandığı yetkilendirilmiş yazılım/cihaz.

Sözleşmesel ve Operasyonel Sorumluluk:

EN 50710 uyarınca uzaktan erişim, sistem sahibinin (operatör) yazılı onayı ve servis sağlayıcı (kurulumcu/bakımcı) ile yapılan kapsamlı bir hizmet seviyesi sözleşmesi (SLA) olmadan başlatılamaz. Erişim zamanı, süresi ve erişilecek fonksiyonlar sınırlandırılmalıdır.



Şekil 1. Uzaktan Erişim Altyapısına Genel Bakış

2.4. Erişim Seviyeleri Hiyerarşisi (Okuma, Kontrol ve Yazma)

EN 50710, uzaktan gerçekleştirilen operasyonları sistem üzerindeki kritiklik düzeyine ve risk katsayısına göre üç ana hiyerarşik seviyeye ayırır:

- 1.Seviye - Okuma (Read):
  - Kapsam: Sistem durumunu izleme, hata/yangın kayıtlarını (event log) çekme, kirlilik oranlarını okuma ve cihaz durum tespiti.
  - Güvenlik Şartı: Temel kullanıcı kimlik doğrulaması ve şifrelenmiş haberleşme (TLS/VPN).

- 2. Seviye - Kontrol (Control):
  - Kapsam: Sirenleri susturma, sistemi uzaktan resetleme, belirli dedektör veya bölgeleri (zone) geçici olarak izole etme (bypass).
  - Güvenlik Şartı: Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama (MFA), zaman kısıtlı erişim yetkisi ve sahadan fiziksel doğrulama/onay mekanizmaları.
- 3.Seviye - Yazma (Write):
  - Kapsam: Sistem konfigürasyon parametrelerini değiştirme, senaryo kartlarını güncelleme ve bellenim (firmware) yükleme.
  - Güvenlik Şartı: Uçtan uca şifreleme, yetkili personel dijital imzası (Code Signing), tam izlenebilirlik (Audit Trail) ve değişmez kayıt loglaması.

2.5. Kesintisiz Can Güvenliği İlkesi

EN 50710 standardının en kritik prensibi "Can Güvenliği Fonksiyonlarının Kesintisizliği" ilkesidir.

Standart uyarınca; uzaktan yürütülen hiçbir yazılım indirme, konfigürasyon aktarımı veya veri analizi işlemi sırasında sahadaki yangın algılama paneli, asli görevi olan gerçek zamanlı yangın algılama, ihbar ve tahliye senaryolarını çalıştırma işlevini devre dışı bırakamaz veya kesintiye uğratamaz. Uzaktan bir müdahale esnasında sahada yangın olayı gerçekleşirse, sistem uzaktan erişim oturumunu derhal ikincil plana iterek (veya durdurarak) yerel alarm senaryolarını öncelikli olarak yürütmek zorundadır.



Şekil 2. EN 50710 Standardı Çerçevesinde Erişim Seviyeleri Hiyerarşisi ve Katmanlı Güvenlik Gereksinimleri

3. CYBER RESILIENCE ACT (CRA) VE YASAL SİBER DAYANIKLILIK ZORUNLULUKLARI

Avrupa Birliği tarafından kabul edilen ve yürürlüğe giren Cyber Resilience Act (CRA - Tüzük EU 2024/2847), dijital unsur barındıran tüm donanım ve yazılım ürünleri için doğrudan bağlayıcı olan yatay siber güvenlik çerçevesini çizmektedir. EN 50710 gibi standartlar operasyonel ve süreçsel şartları belirlerken; CRA, pazara sunulan ürünlerin henüz tasarım aşamasından itibaren siber dayanıklı olmasını yasal bir zorunluluk haline

getirmektedir. IP haberleşme modülleri, bulut yazılımları ve uzaktan erişim arayüzlerine sahip yangın algılama santralleri doğrudan bu tüzüğün kapsamına girmektedir.

3.1. CRA Kapsamı ve Yangın Güvenlik Cihazlarına Etkisi (CE Uyumluluğu)

CRA düzenlemesi, AB pazarına giren ve internete/ağlara bağlanabilen tüm ürünler için yeni bir CE İşaretleme (CE Marking) şartı getirmektedir. Buna göre siber güvenlik gereksinimlerini karşılamayan bir yangın algılama santralinin veya haberleşme kartının CE etiketi alması ve AB/Türkiye pazarında satılması mümkün olmayacaktır.

Euralarm ve ilgili teknik komitelerin değerlendirmelerine göre:

- Varsayılan (Default) Sınıf: Standart yangın algılama panelleri ve haberleşme modülleri genel olarak bu grupta yer alıp öz-beyan (Self-assessment) ve uygunluk değerlendirme süreçlerine tabidir.
- Kritik (Important Class I / II) Sınıf: Gelişmiş kimlik/erişim yönetimi yeteneklerine sahip yazılımlar veya ağ güvenlik bileşenleri entegre edilmiş yangın sistemleri, üçüncü taraf (Notified Body) onaylı belgelendirme gerektirebilmektedir.

3.2. Tasarım ve Varsayılan Olarak Güvenlik (Security by Design & Default)

CRA uyarınca üreticiler, yangın güvenlik ürünlerini geliştirirken "Tasarım ve Varsayılan Olarak Güvenlik" ilkelerini uygulamak zorundadır:

- Varsayılan Şifre Yasağı: Cihazlarda fabrika çıkışlı sabit veya bilinen varsayılan şifrelerin (admin/admin, 1234 vb.) kullanımı kesinlikle yasaklanmıştır. Cihazlar benzersiz şifreler veya güvenli kurulum sihirbazları ile gelmelidir.
- Saldırı Yüzeyinin Daraltılması (Attack Surface Reduction): Kullanılmayan ağ portları, servisler ve haberleşme protokolleri varsayılan olarak kapalı gelmelidir.
- Erişim Kısıtlaması: Fiziksel ve mantıksal arayüzler sadece yetkilendirilmiş haberleşmeye açık tutulmalıdır.

3.3. Yazılım Bileşen Listesi (SBOM) ve Yaşam Döngüsü Siber Güvenlik Yönetimi

CRA, ürünün satışı ile sona eren bir süreç değil; ürünün tüm kullanım ömrünü kapsayan bir sorumluluk modelidir:

- Yazılım Bileşen Listesi (SBOM - Software Bill of Materials): Üreticiler, yangın santralinin bellenimi-nde (firmware) veya uzaktan erişim yazılımlarında kullanılan tüm açık kaynak kodlu ve üçüncü taraf kütüphanelerin detaylı dökümünü tutmakla yükümlüdür. Böylece bilinen bir güvenlik açığı (CVE) ortaya çıktığında hangi cihazların etkilendiği anında tespit edilebilir.
- Yama Yönetimi ve Güncelleme Desteği: Üreticiler, yangın güvenlik sistemlerinin tipik kullanım ömrü boyunca (örneğin 5-10 yıl) tespit edilen güvenlik açıklarına karşı ücretsiz yama (patch) ve bellenim güncellemesi sunmak zorundadır.
- 24 Saat İçinde Zafiyet Bildirimi: Aktif olarak istismar edildiği tespit edilen kritik siber güvenlik açıkları veya güvenlik ihlalleri, üretici tarafından 24 saat içinde yetkili siber güvenlik makamlarına (ENISA) ve olumsuz etkilenen kullanıcılara raporlanmalıdır.

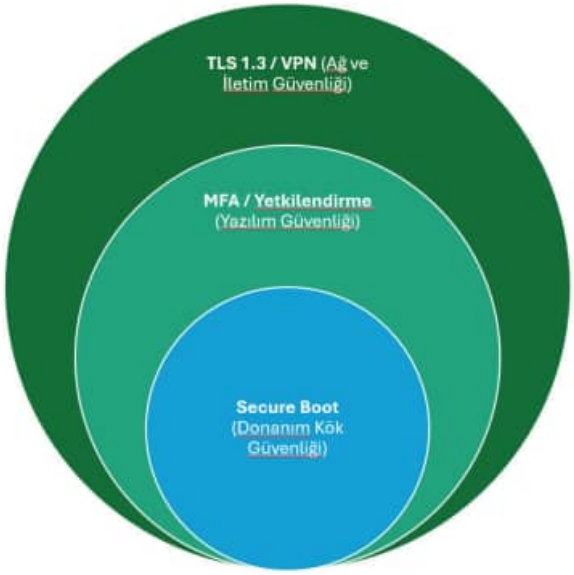
4. ÇOK KATMANLI GÜVENLİK MİMARİSİ VE RİSK ANALİZİ (FMEA)

EN 50710 standardının getirdiği operasyonel şartlar ile CRA regülasyonunun zorunlu kıldığı yasal ürün güvenliği, ancak donanım seviyesinden bulut katmanına kadar uzanan çok katmanlı bir güvenlik mimarisi ile sahada karşılık bulabilir.

4.1. CRA Kapsamı ve Yangın Güvenlik Cihazlarına Etkisi (CE Uyumluluğu)

Uzaktan erişim altyapısının (RAI) siber dayanıklılığını temin etmek üzere mimariye entegre edilen üç temel teknolojik katman şunlardır:

- Güvenli Önyükleme (Secure Boot): Yangın santralinin mikrodenetleyici (MCU) seviyesinde çalışan donanımsal bir kök güvenliğidir (Hardware Root of Trust). Cihaz açılırken bellenim (firmware) üzerindeki dijital imzayı doğrular. Yetkisiz, değiştirilmiş veya zararlı kod yüklenmiş bellenimlerin cihaz üzerinde çalışmasını donanım seviyesinde engeller.
- Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama (MFA): Servis mühendislerinin veya yetkili personelin uzaktan erişim istemcisine (Client) giriş yaparken yalnızca şifreye değil; zaman tabanlı tek kullanımlık kodlar (TOTP), SMS veya biyometrik doğrulama gibi ikinci bir doğrulama katmanından geçmesini zorunlu kılar.
- Uçtan Uca Şifreleme (TLS 1.3): Sahadaki yangın paneli (SPT), uzaktan erişim sunucusu (RAS) ve istemci arasındaki tüm veri trafiği güncel TLS 1.3 protokolü ile kriptolanır. Böylece iletilen verilerin gizliliği ve bütünlüğü güvence altına alınarak araya girme (Man-in-the-Middle) saldırıları önlenir.



Şekil 3. Çok Katmanlı Güvenlik (Defense-in-Depth) Mimarisi

4.2. Uzaktan Müdahale Süreçleri İçin FMEA Matrisi

Uzaktan hizmetlerin yürütülmesi esnasında ortaya çıkabilecek potansiyel hata türleri, siber tehditler ve bunların yangın güvenliği üzerindeki etkileri Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) metodolojisi ile değerlendirilmiştir:

Süreç / Müdahale Adımı	Olası Hata / Siber Tehdit Türü	Sistem ve Can Güvenliği Üzerindeki Etkisi	Önleyici Tedbir & Kontrol Mekanizması
Kullanıcı Girişi / Yetkilendirme	Yetkisiz İstemci Erişimi / Kimlik Hırsızlığı	Sistem konfigürasyonunun izinsiz görüntülenmesi veya değiştirilmesi.	Çok Faktörlü Kimlik Doğrulama (MFA), IP kısıtlaması ve rol tabanlı erişim kontrolü (RBAC).
Bellenim (Firmware) Güncelleme	Zararlı Yazılım (Malware/ Ransomware) Yüklenmesi	Yangın santralinin kilitlenmesi veya algılama işlevinin tamamen durması.	Donanımsal Secure Boot, Kriptografik Kod İmzalama (*Code Signing*) ve SBOM takibi.
Veri İletimi ve İzleme	Araya Girme Saldırısı (*Man-in-the-Middle*)	Olay günlüklerinin (*event logs*) manipüle edilmesi, hataların gizlenmesi.	TLS 1.3 uçtan uca şifreleme, VPN tünelleri ve değiştirilemez Audit Log takibi.
Uzaktan Kontrol / Reset / Bypass	Yetkisiz Bölge İzolesi / Siber Sabotaj	Gerçek bir yangın anında alarmın devreye girmemesi (**En Yüksek Can Riski**).	EN 50710 Seviye 2/3 kısıtlamaları ve **Sahada "Yerel Onay" Mekanizması**.

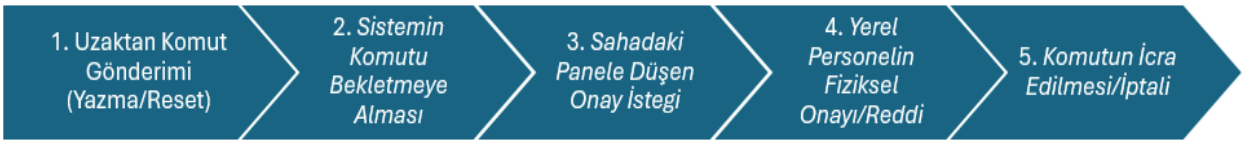
Tablo 1. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)

4.3. Siber Sabotaj Riskine Karşı Sahadaki "Yerel Onay" (Local Approval) Mekanizması

FMEA matrisinde görüldüğü üzere, uzaktan yürütülen Kontrol (siren susturma, reset) ve Yazma (bypass, konfigürasyon değişimi) işlemleri sistem üzerinde doğrudan hayati risk yaratmaktadır. Bir siber saldırganın uzaktan erişim yetkilerini ele geçirmesi durumunda, sahadaki yangın sistemini tamamen etkisiz hale getirmesi (siber sabotaj) teorik olarak mümkündür.

Bu riski bertaraf etmek adına EN 50710 standardı çerçevesinde "Yerel Onay" (Local Approval) mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmaya göre:

- Uzaktan erişim sağlayan teknik personel kritik bir kontrol veya yazma komutu gönderdiğinde, işlem sistem tarafından dondurulur ve bir "Onay Bekliyor" durumuna alınır.
- Sahadaki yetkili personel (bina güvenlik amiri veya tesis sorumlusu), yangın santrali ekranında veya yerel erişim anahtarında bu işlemi fiziksel olarak onaylamadığı sürece komut icra edilmez.
- Böylece uzaktan gerçekleşebilecek olası bir siber sabotaj girişimi, sahadaki fiziksel insan doğrulaması bariyerine takılarak tamamen engellenmiş olur.



Şekil 4. Siber Sabotaj Riskine Karşı Sahadaki 'Yerel Onay' Mekanizması Süreç Akış Şeması

4.4. Lokasyon Bazlı Güvenlik Önlemleri

Saha Tarafı (RAE Lokasyonu):

- RAE cihazı güvenli ve yetkisiz kişilere kapalı bir alanda bulunmalıdır.
- Cihazın güç ve iletişim hatları kesintilere karşı yedeklenmelidir.
- Herhangi bir yazılım değişikliği sonrası saha testi yapılmalıdır.

Uzaktan Taraf (RAC/RAS Lokasyonu):

- Sadece yetkili ve eğitimli kullanıcılar erişim yapabilir.
- Uygulama açıkken terminal başında kullanıcı bulunmalıdır (gözetimli oturum).
- Sistem alarm durumuna geçtiğinde oturumlar otomatik kesilmelidir.

5. TÜRKİYE YANGIN GÜVENLİĞİ SEKTÖRÜ İÇİN BÜTÜNLEŞİK SİSTEM MİMARİSİ ÖNERİSİ

EN 50710 standardının sunduğu operasyonel çerçeve ile CRA regülasyonunun getirdiği yasal yükümlülükler, Türkiye'deki yangın güvenliği ekosistemi için yeni bir dönüşüm haritası ortaya koymaktadır. Bu bölümde; yerli üreticiler, tasarımcılar, entegratörler ve bina işletmecileri için hem operasyonel verimliliği artıran hem de siber dayanıklılık standartlarına tam uyum sağlayan bütünleşik bir sistem mimarisi modeli önerilmektedir.

5.1. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance) ve Operasyonel Verimlilik

Uzaktan hizmetlerin güvenli bir mimaride sunulması, bakım süreçlerini "tepkisel" (reactive) yapıdan "kestirimci" (predictive) bir modele taşımaktadır:

- Erişim Seviyesi 1 (Okuma - Read) Esaslı İzleme: Sahadaki dedektörlerin kirlilik oranları, analog ölçüm değerleri, besleme voltajları ve çevrim (loop) empedansları EN 50710 Seviye 1 kapsamında kesintisiz izlenmelidir.
- Erken Uyarı ve Arıza Kestirimi: Yanlış alarmlara yol açabilecek tozlanma veya donanım yaşlanmaları henüz arıza alarmına dönüşmeden tespit edilerek planlı saha ziyaretleri ile giderilebilir. Böylece işletim maliyetleri ciddi oranda düşerken, sistemin kullanılabilirliği (availability) maksimum seviyede tutulur.

5.2. Tasarımcılar, Entegratörler ve İşletmeciler İçin Uygulama Rehberi

Türkiye'de yangın güvenliği projelerinin tasarımından işletilmesine kadar görev alan tüm paydaşlar için adım adım uyum rehberi aşağıda sunulmuştur:

A. Tasarımcı ve Müşavirler (Consultants) İçin:

- Güvenli Mimarinin Şartnamelere Eklenmesi: Yangın şartnamelerinde sadece EN 54 serisi ürün standartları değil; uzaktan erişim altyapıları için EN 50710 ve cihaz siber güvenliği için CRA (CE) uyumluluk kriterleri şart koşulmalıdır.
- Doğrudan Port Yönlendirme Yasağı: Proje tasarımlarında internete doğrudan açık IP/Port yönlendirme (Port Forwarding) mimarileri kesinlikle reddedilmeli; donanımsal VPN, TLS 1.3 ve şifreli RAI çözümleri projeksiyonlara dahil edilmelidir.

B. Sistem Entegratörleri ve Kurulumcular İçin:

- Varsayılan Ayarların Değiştirilmesi: Saha kurulumlarında cihazların varsayılan mühendislik şifreleri derhal benzersiz karmaşık şifrelerle değiştirilmelidir.
- Sorumluluk Matrisi ve Onay: İşletmeci ile EN 50710 gereğince yazılı hizmet seviyesi sözleşmesi (SLA) imzalanmalı; uzaktan erişim yetkileri rol tabanlı (RBAC) olarak tanımlanmalıdır.
- Yerel Onay Entegrasyonu: Uzaktan kontrol ve yazma yetkisi verilecek tesislerde, yangın paneli üzerinde "Yerel Onay" (Local Approval) fonksiyonu aktif edilmelidir.

C. Üreticiler İçin (CRA Uyum Süreci):

- Secure Boot ve Kod İmzalama: Mikrodenetleyici seviyesinde Secure Boot mimarisine geçilmeli, tüm bellenim güncellemeleri kriptografik olarak imzalanmalıdır.
- SBOM Envanteri: Yazılım bileşen listesi (SBOM) oluşturularak kullanılan üçüncü taraf kütüphaneler düzenli güvenlik taramalarından geçirilmelidir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yangın algılama ve alarm sistemlerinde dijital dönüşüm, uzaktan izleme, kestirimci bakım ve hızlı müdahale gibi büyük operational avantajları beraberinde getirmektedir. Ancak bu teknolojilerin geniş alan ağlarına ve bulut platformlarına açılması, hayati önem taşıyan yangın güvenliği altyapılarını siber tehditlerin açık bir hedefi haline getirmiştir.

Bu çalışmada, operational güvenlik standartlarını çizen EN 50710 ile yasal siber dayanıklılık yükümlülükleri getiren Cyber Resilience Act (CRA) düzenlemesi bütünleşik bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Elde edilen temel sonuçlar şunlardır:

1. Çok Katmanlı Güvenlik Şarttır: Donanım seviyesinde *Secure Boot*, erişim seviyesinde *MFA* ve iletim seviyesinde *TLS 1.3* şifreleme katmanları bir arada uygulanmadan güvenli bir uzaktan hizmet altyapısından söz edilemez.
2. Can Güvenliği Kesintisizdir: EN 50710 uyarınca, uzaktan yürütülen hiçbir bakım veya güncelleme işlemi yangın panelinin sahadaki gerçek zamanlı algılama ve ihbar işlevini kesintiye uğratamaz.
3. Siber Sabotaja Karşı "Yerel Onay": Yapılan FMEA risk analizi göstermektedir ki; uzaktan yapılan kontrol ve yazma işlemlerinde sahadaki yetkili personelin fiziksel *Yerel Onayı (Local Approval)* zorunlu tutulduğunda, olası siber sabotaj riskleri minimum seviyeye indirilebilmektedir.
4. Yasal Uyum ve CE Markalaması: CRA regülasyonu ile birlikte, siber dayanıklılık kriterlerini karşılamayan (varsayılan şifre yasağı, SBOM yönetimi, yaşam döngüsü yama desteği sunmayan) yangın güvenlik ürünlerinin pazara sunulması ve CE etiketi alması yasal olarak mümkün olmayacaktır.

Gelecekteki çalışmalarda, yangın güvenlik sistemlerine entegre edilecek Yapay Zekâ (AI) tabanlı uzaktan arıza teşhis algoritmalarının siber güvenliği ve bulut tabanlı yangın otomasyonlarının sıfır güven (Zero Trust) mimarilerine adaptasyonu detaylı olarak incelenebilir. Türkiye'deki yangın güvenliği sektörünün, EN 50710 standartlarını şartnamelerine derhal entegre etmesi ve yerli üreticilerin CRA/CE uyum süreçlerini hızla tamamlaması kritik bir gereksinimdir.

7. KAYNAKLAR

- Çakır, A. (2025). EN-50710 Standardı ve Yangın Güvenlik Sistemlerinde Güvenli Uzaktan Servis Uygulamaları. ETUK 2025 Bildiriler Kitabı, s. 187
- CEN/CENELEC. (2021). EN 50710: Requirements for the provision of secure remote services for fire safety systems and security systems. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization.
- European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/2847 on horizontal cybersecurity requirements for products with digital elements (Cyber Resilience Act). Official Journal of the Euro-

pean Union.

- Euralarm. (2023). Guideline on Remote Services for Fire Safety and Security Systems. Euralarm Trade Association.
- ENISA. (2023). Good Practices for Security of IoT and Smart Infrastructure in Critical Sectors. European Union Agency for Cybersecurity.

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Adem Çakır

1987 yılında İstanbul'da doğdu. 2003 yılında Edirne Süleyman Demirel Fen Lisesi'nden mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Kontrol Mühendisliği lisans programlarının ardından, 2022 yılında İTÜ Executive MBA yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Siemens San. ve Tic. A.Ş.›de İş Geliştirme Uzmanı olarak mesleki faaliyetlerine devam etmektedir; yangın güvenlik sistemleri, güvenlik sistemleri, yönetim yazılımları ve altyapıları hakkında teknik çalışmalar yürütmektedir.

MODERN CEPHE SİSTEMLERİNDE YANGIN GÜVENLİĞİ VE YÖNETMELİK DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Tolga AYCI
Tunahan DEMİRBAŞ

ÖZET

Cephe yangınlarında can ve mal güvenliğini belirleyen temel unsur, yalnızca kaplama veya yalıtım malzemesinin yangına tepki sınıfı değil, yangın kompartımanının yapı kabuğuna ulaştığı noktalardaki sürekliliktir. Bu çalışma; geleneksel dıştan ısı yalıtım sistemleri, giydirme cepheler ve havalandırmalı cepheleri, Türkiye'de yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in cephelere ilişkin hükümleri ile güncel akademik literatür birlikte değerlendirilerek incelemektedir. Özellikle açıklık çevreleri, döşeme kenarı-giydirme cephe birleşimi ve havalandırma boşluklarında kullanılan yangın bariyerleri ele alınmıştır. Literatür; havalandırmalı boşlukların düşey yangın yayılımını hızlandırabildiğini, boşluk bariyerlerinin konum ve sürekliliğinin performansı doğrudan etkilediğini ve geleneksel sistemlerin davranışının tekil malzeme sınıfından ziyade sistem bileşimiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Türkiye mevzuatı; cephe malzeme sınıfları, geleneksel sistem sertifikasyonu, katlar arası alev geçişinin sınırlandırılması ve giydirme cephelerde döşeme birleşiminin yalıtılması açısından önemli hükümler içermektedir. Buna karşılık havalandırmalı cephe boşluklarının bölümlendirilmesi için bariyer yerleşimi ve performans kriterlerinin proje düzeyinde daha açık tanımlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmada, döşeme kenarı çevresel derzinin EAD 350141, EN 1364-4 ve ETA kapsamı üzerinden doğrulanmasına dayalı uygulama yaklaşımı örneklenmiş ve mevzuattan sahaya uzanan pasif yangın güvenliği kontrol adımları önerilmiştir.

Anahtar sözcükler: Cephe yangınları, pasif yangın koruma, giydirme cephe, havalandırmalı cephe, döşeme kenarı, boşluk bariyeri

FIRE SAFETY AND REGULATORY ASSESSMENT IN MODERN FACADE SYSTEMS

ABSTRACT

In façade fires, life safety depends not only on the reaction-to-fire classification of cladding or insulation products, but also on maintaining fire-compartment continuity where the building envelope intersects compartment boundaries. This study examines traditional external thermal insulation systems, curtain walls and ventilated façades by jointly considering the façade provisions of the Turkish Regulation on Fire Protection of Buildings and recent academic literature. Particular attention is given to opening perimeters, the floor-edge-to-curtain-wall interface and cavity barriers within ventilated façades. The literature indicates that ventilated cavities can accelerate vertical fire spread, that the location and continuity of cavity barriers directly influence fire development, and that the behaviour of traditional façade systems cannot be inferred from the classification of a single material alone. Turkish regulations provide important requirements regarding façade material classes, certification of traditional systems, limitation of inter-storey flame spread and firestopping at floor-to-curtain-wall interfaces. However, project-level requirements for the positioning and performance of cavity barriers in ventilated façades remain less explicit. The paper therefore illustrates a verification route for perimeter seals based on EAD 350141, EN 1364-4 and the field of application stated in the relevant ETA, and proposes practical control steps linking regulatory intent to design, installation and inspection.

Key words: Façade fires, passive fire protection, curtain wall, ventilated façade, floor edge, cavity barrier

1. GİRİŞ

Modern cephe sistemleri enerji verimliliği, su ve hava geçirimsizliği, gün ışığı, estetik ve yapısal gereklilikleri aynı kabukta bir araya getirirken, yangın güvenliği bakımından çok sayıda arayüz oluşturur. Bir iç mekân yangınının pencereden dışarı taşması, dış yüzeyde yeniden tutuşma, cephe arkasındaki boşluklarda düşey yayılım veya döşeme-cephe birleşiminden sıcak gaz geçişi; yangının başlangıç kompartımanının dışına taşınmasına neden olabilir. Bu nedenle pasif yangın güvenliğinin temel problemi, tek tek ürünlerden çok kompartıman sınırının cephe boyunca kesintisiz sürdürülebilmesidir [1-5].

Türkiye'de cephe yangın güvenliğinin temel mevzuat çerçevesi Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) ve Yönetmeliğin uygulanmasına ilişkin Bakanlık kılavuzudur. Madde 27; dış cephe malzeme sınıflarını, katlar arasındaki korumasız açıklıklarda alev geçişinin sınırlandırılmasını, geleneksel cephe sistemlerinin sertifikasyonunu ve giydirme cephelerde döşeme-cephe birleşiminin yangına karşı yalıtılmasını düzenlemektedir [1,2]. Bu hükümler, cephe yangın güvenliği açısından önemli bir temel oluşturmakla birlikte, uygulamada 'hangi noktada hangi pasif yangın çözümünün hangi kanıtla doğrulanacağı' sorusunun ayrıca açıklanmasını gerektirmektedir.

Bu çalışma, önceki araştırmalarda ayrıntılı biçimde ele alınan havalandırmalı cephe boşluğu ve boşluk bariyeri konusunu [3] geleneksel ve giydirme cephelerdeki kritik pasif yangın detaylarıyla birlikte değerlendirmektedir. Çalışmanın amacı uluslararası test yöntemlerini kataloglamak değil; literatürdeki bulguları kullanarak Türkiye mevzuatındaki hedefleri uygulama detaylarına çevirmek, özellikle döşeme kenarı çevresel yangın bariyeri ve havalandırmalı boşluk bariyerleri için tasarım-doğrulama-saha kontrol zincirini basit ve teknik olarak tutarlı biçimde ortaya koymaktır. ACT gibi daha gelişmiş aktif boşluklu cephe yaklaşımlarına yalnızca kapsamı konumlandırmak amacıyla kısaca değinilmiş, ana tartışma Türkiye'de yaygın karşılığı bulunan pasif cephe detayları üzerinde tutulmuştur.

2. LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ VE CEPHEDE YANGIN YAYILIMI

Cephe yangınları üzerine yapılan çalışmalar, dış kabuğun yangın performansının malzeme, geometri, boşluk, bariyer ve birleşim detaylarının birlikte davranışına bağlı olduğunu göstermektedir. Yaman ve Demirel [4], Türkiye ile farklı ülke düzenlemelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında özellikle cephe boyunca düşey yangın yayılımının sınırlandırılması ve havalandırmalı sistemlerin detaylandırılması bakımından mevzuatların yaklaşım farklılıklarını ortaya koymuştur. Türkkan ve Soydemir [5] ise yangın bölümlendirmesini bozan derz, tesisat geçişi ve cephe birleşimi gibi açıklıklarda test edilmiş pasif yangın durdurucu sistemlerin kullanılmasının kompartıman bütünlüğü için kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Geleneksel dıştan ısı yalıtım sistemleri bakımından Bjegović ve arkadaşlarının [6] gerçek ölçekli deneyleri; yanıcı yalıtım, yanıcı yalıtım ile yangın bariyeri ve yanmaz yalıtım kullanılan farklı ETICS konfigürasyonlarının aynı yangın etkisi altında farklı davranabildiğini göstermiştir. Bu sonuç, yalıtım levhasının tekil yangına tepki sınıfının tüm cephe sisteminin performansını tek başına temsil etmediğine; sıva, kaplama, yangın bariyeri ve montaj detaylarının sistem düzeyinde birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Havalandırmalı cephelerde Asimakopoulou, Kolaitis ve Founti [7] tam ölçekli bir kompartıman-cephe deney düzeneği kullanarak hava boşluğunun dışarı taşan alevlerle etkileşimini incelemiş; havalandırmalı sistemlerin üst katlara dıştan yangın yayılımı açısından özel dikkat gerektirdiğini ortaya koymuştur. Čolić ve Pečur'un [8] yedi büyük ölçekli deney üzerinden gerçekleştirdiği parametrik çalışma ise yatay ve dikey boşluk bariyerlerinin sayısı ve konumunun, özellikle yanıcı yalıtım içeren sistemlerde yangın gelişimini belirgin biçimde etkileyebildiğini göstermektedir. Çalışmada düşey bariyerlerin yatay yayılımı sınırlandırdığı, yetersiz sayıda yatay bariyerin ise bazı konfigürasyonlarda yeterli olmadığı görülmüştür.

Türkiye literatüründe Çalışkan ve Korkmaz [9], 2010-2021 arasındaki cephe yangınlarını ve deneysel çalışmaları karşılaştırmış; incelenen 41 olayın 21'inin havalandırmalı giydirme cephelerde gerçekleştiğini, 11 olayda ise cephe tipinin kayıtlı olmadığını bildirmiştir. Bu örneklem tüm cephe yangınlarının istatistiksel dağılımını temsil etmese de, havalandırmalı boşluğun gerçek olaylardaki önemini görünür kılmaktadır. Tolga Aycı'nın 2025 tarihli çalışması [3] da Türkiye'deki BYKHY hükümlerini havalandırmalı cepheler özelinde tartışmakta; boşlukta oluşan baca etkisini ve katlar arası alev, duman ve ısı geçişinin sınırlandırılmasında yatay/dikey boşluk bariyerlerini temel uygulama konusu olarak ele almaktadır.

Giydirme cephelerde güncel literatür, özellikle spandrel bölgesi ve döşeme kenarı birleşiminin yalnızca bir 'derz dolgusu' olarak görülmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Eizaguirre-Iribar ve arkadaşları [10], EN 1364-4 kapsamındaki parça konfigürasyon testlerini kanıta dayalı olarak irdelemiş; giydirme cephe içindeki bazı boşluk ve çerçeve elemanlarının yangın yayılımı üzerinde etkili olabileceğini, bu nedenle test edilen konfigürasyon ile gerçek tasarım arasındaki ilişkinin dikkatle kurulması gerektiğini göstermiştir.

Tablo 1. Seçilmiş literatürün bu çalışma açısından temel bulguları.

Kaynak	İnceleme odağı	**Bu çalışmaya aktarılan temel bulgu**
Bjegović ve ark. (2016) [6]	ETICS, gerçek ölçekli deney	Cephe performansı tek bir yalıtım ürününün sınıfına indirgenemez; sistem bileşimi ve yangın bariyeri ayrıntıları davranışı değiştirir.
Asimakopoulou ve ark. (2020) [7]	Havalandırmalı cephe, tam ölçekli deney	Hava boşluğu ve dışarı taşan alevlerin etkileşimi üst katlara yayılım açısından kritik bir mekanizmadır.
Čolić ve Pečur (2020) [8]	Yatay/dikey boşluk bariyerleri	Bariyerlerin sayısı, konumu ve sürekliliği yangın yayılımını doğrudan etkiler; düşey bariyerler yanal yayılımı sınırlayabilir.
Yaman ve Demirel (2020) [4]	Mevzuat karşılaştırması	Cephe güvenliği yalnızca malzeme sınıfıyla değil, düşey yayılımı sınırlayan tasarım önlemleriyle birlikte değerlendirilmelidir.
Çalışkan ve Korkmaz (2023) [9]	Gerçek yangınlar ve deneyler	Havalandırmalı giydirme cephe yangınları, gerçek olaylar bakımından da önemli bir araştırma ve tasarım problemi oluşturmaktadır.
Aycı (2025) [3]	Türkiye ve havalandırmalı cephe	BYKHY malzeme sınıflarını tanımlarken, havalandırmalı boşlukta katlar arası bölümlendirme için cavity barrier yaklaşımı ayrıca ele alınmalıdır.
Eizaguirre-Iribar ve ark. (2025) [10]	Giydirme cephe ve EN 1364-4	Spandrel/perimeter seal davranışı, test edilen cephe konfigürasyonu ve uygulama alanı ile birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 1. Cephe kompartıman sürekliliği açısından başlıca kritik arayüzlerin şematik gösterimi (yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

3. TÜRKİYE MEVZUATINDA CEPHELERİN PASİF YANGIN GÜVENLİĞİ

BYKHY Madde 27, cephelerde yangın yayılımının sınırlandırılmasını hem malzeme sınıfı hem de belirli detay hükümleri üzerinden ele almaktadır. Yönetmeliğe göre bina yüksekliği 28,50 m'den fazla olan binaların dış cephelerinin zor yanıcı, diğer binaların dış cephelerinin ise en az zor alevlenici malzemeden olması gerekir. Ayrıca iki katın pencere gibi korumasız boşlukları arasında düşeyde en az 100 cm yüksekliğinde yangına dayanıklı dolu yüzey oluşturulması veya cephe iç kısmının belirtilen aralık ve mesafelerde otomatik yağmurlama sistemi ile korunması öngörülmektedir [1,2]. Bu hüküm, pencereden dışarı çıkan alevin üst kat açıklığına atlamasını sınırlandırmaya yönelik temel cephe stratejisidir.

3.1. Geleneksel dıştan ısı yalıtım sistemleri

Madde 27'nin geleneksel cephe sistemlerine ilişkin hükümleri, ısı yalıtım malzemesi, yapıştırıcı, dübel, sıva filesi, sıva ve benzeri bileşenlerle oluşturulan sistemi tek bir bütün olarak tanımlamakta ve ilgili standartlar kapsamında akredite laboratuvar tarafından sertifikalandırılmasını istemektedir [1]. Bu yaklaşım, literatürdeki sistem davranışı bulgularıyla uyumludur: aynı yalıtım türü, farklı koruyucu katmanlar ve bariyer detaylarıyla farklı yangın davranışı gösterebilir [6]. Dolayısıyla projede yalnızca 'yalıtım malzemesinin sınıfı' değil, sertifikalandırılmış sistem detayı ve açıklık çevresi çözümleri esas alınmalıdır.

Yönetmelik ayrıca dış cephesi zor alevlenici malzeme veya sistemden oluşan ve yüksekliği 28,50 m'den az olan binalarda zemin üzerindeki ilk 1,5 m'nin hiç yanmaz malzeme ile kaplanmasını; bina yüksekliği 6,50 m'den fazla ise pencere ve benzeri boşlukların yanlarında en az 15 cm, üstünde ise en az 30 cm eninde hiç yanmaz yangın bariyerleri oluşturulmasını öngörmektedir [1]. Uygulamada bu bölgelerde sistem sertifikasında tanımlanan malzemelerin, genişliklerin ve birleşim biçiminin korunması, bariyerin cephe boyunca kesintiye uğramaması kadar önemlidir.

3.2. Giydirme cepheler

Giydirme cephelerde yangın kompartımanının döşeme kenarında dış kabukla buluştuğu çizgi, pasif yangın güvenliğinin en kritik noktalarından biridir. BYKHY Madde 27/3(a), cephe elemanları ile alevlerin geçebileceği boşlukları bulunmayan döşemelerin kesiştiği yerlerin, alevlerin komşu katlara atlamasını engelleyecek biçimde döşemenin yangın dayanımını sağlayacak süre kadar yalıtılmasını istemektedir [1]. Başka

bir ifadeyle, döşeme yangın kompartımanının sınırı cepheye ulaştığında 'edge of slab' olarak adlandırılan çevresel boşluğun da aynı kompartımanlama hedefini sürdürmesi gerekir.

Bu birleşimde amaç, yalnızca görünür bir boşluğu kapatmak değildir. Çevresel yangın bariyeri; yangın sırasında döşeme ile cephe arasındaki açıklıktan alev ve sıcak gaz geçişini sınırlamalı, gerekli ise ısı yalıtımı kriterini sağlamalı ve cephe/döşeme hareketlerine izin veren bir detay içinde performansını korumalıdır. Bu nedenle sahada kullanılan sistemin 'yangın dayanımlı bir malzeme' olması yeterli kabul edilmemeli; test edilmiş birleşim geometrisi, destek malzemesi, derz genişliği, kaplama kalınlığı, altlık türü ve hareket kabiliyeti proje detayına taşınmalıdır [5,10,11].

3.3. Havalandırmalı giydirme cepheler

BYKHY Madde 27/3(b), derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemli binalarda kullanılan cephe ve yalıtım malzemelerinin en az zor yanıcı olmasını şart koşmaktadır [1]. Bu hüküm malzeme katkısını sınırlandırmak açısından önemlidir; ancak hava boşluğunun yangın sırasında oluşturabileceği düşey ve yatay yayılım yolunun nerelerde ve hangi performansta bölümlendirileceğini ayrıntılı biçimde tarif etmemektedir. Aycı [3] bu noktayı havalandırmalı cepheler açısından temel geliştirme alanı olarak tanımlamakta; uluslararası uygulamada yatay ve dikey boşluk bariyerlerinin yangın bölümlendirmesinin cephede devamını sağlayan elemanlar olduğunu belirtmektedir.

Literatür bulguları da boşluk bariyerlerinin yalnızca yardımcı bir ürün değil, sistem geometrisinin parçası olduğunu göstermektedir [7-9]. Uygulamada yatay bariyerler çoğunlukla kat/döşeme çizgileri ve açıklıklar çevresinde, dikey bariyerler ise yangın bölmelerinin yanal sınırlarında veya cephe alanının bölümlendirilmesinde kullanılır. Havalandırma ve drenaj gereksinimi bulunan bölgelerde normal durumda kontrollü açıklık bırakan, yangın etkisiyle şişerek boşluğu kapatan 'açık durum' bariyerleri kullanılabilir. Ancak bariyer tipi ne olursa olsun, boşluk genişliği, altlık, sabitleme, köşe dönüşleri ve cephe braketleri çevresindeki kesintiler test/teknik değerlendirme kapsamıyla uyumlu olmalıdır.

3.4. ACT ve gelişen aktif boşluklu cepheler

ACT gibi mekanik olarak kontrol edilen aktif boşluklu cepheler; enerji performansı ve iç ortam konforu açısından gelişen bir araştırma alanıdır. Bununla birlikte Türkiye'de uygulama yaygınlığı sınırlıdır ve pasif yangın güvenliği bakımından yerleşik havalandırmalı cephe detayları kadar olgun bir uygulama pratiği bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma ACT sistemlerini ayrı bir tasarım konusu olarak derinleştirmemekte; yalnızca boşluğun katlar arası sürekliliği, duman taşınımı ve yangın anındaki mekanik işletme senaryosunun proje-özel yangın mühendisliği kapsamında ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini not etmektedir.

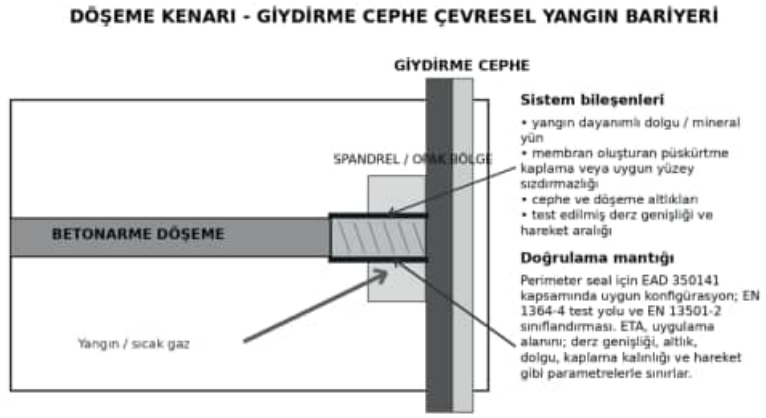
4. KRİTİK PASİF YANGIN KORUMA DETAYLARI

4.1. Döşeme kenarı - giydirme cephe çevresel birleşimi (edge of slab)

Döşeme kenarı birleşimi, BYKHY'deki 'döşeme yangın dayanımı kadar yalıtım' hükmünün sahadaki en doğrudan karşılığıdır. Avrupa teknik değerlendirme yaklaşımında EAD 350141-00-1106, lineer derz ve boşluk sızdırmazlıklarını kapsamakta ve giydirme cephelerin çevresel (perimeter) derzlerini açıkça kapsamına almaktadır [11]. EAD'ye göre bir lineer derz sistemi çoğu zaman birden fazla bileşenden oluşur; örneğin mineral yün dolgu ile birlikte kullanılan membran oluşturan bir kaplama. Değerlendirmenin yalnızca tek bir bileşeni değil, nihai montajı oluşturan sistem bütününü kapsaması gerekir [11].

Doğrulama yolu uygulamanın konumuna göre ayrılır. Giydirme cephe çevresel derzleri EN 1364-4'e, giydirme cepheye bitişik düşey lineer derzler EN 1364-3'e, diğer lineer derzler ise EN 1366-4'e göre test edilir ve sonuçlar EN 13501-2'ye göre sınıflandırılır [11,13-17]. Bu ayrım önemlidir: sıradan bir lineer inşai derz için elde edilen deney sonucu, döşeme kenarı-giydirme cephe birleşimine doğrudan taşınmamalıdır. Perimeter seal, cephe sisteminin parçası olarak ve temsilî altlık/derz geometrisiyle doğrulanmalıdır.

Pratik bir örnekte, döşeme ile giydirme cephe arasında mineral yün dolgu ve yüzeyde püskürtülerek membran oluşturan yangın durdurucu kaplama kullanılan bir sistem ele alınabilir. Ürünün EAD 350141 esaslı bir ETA'sının bulunması, tek başına her birleşimde aynı performansın geçerli olduğu anlamına gelmez. Tasarımcı; ETA'da tanımlanan destek elemanı, maksimum/minimum derz genişliği, dolgu yoğunluğu ve sıkıştırması, kaplama kalınlığı, uygulama yüzü, derz yönü, hareket sınıfı ve elde edilen E/I sınıflarının proje detayı ile eşleştiğini kontrol etmelidir. Saha denetimi de aynı parametreleri ölçülebilir kontrol noktalarına dönüştürmelidir.

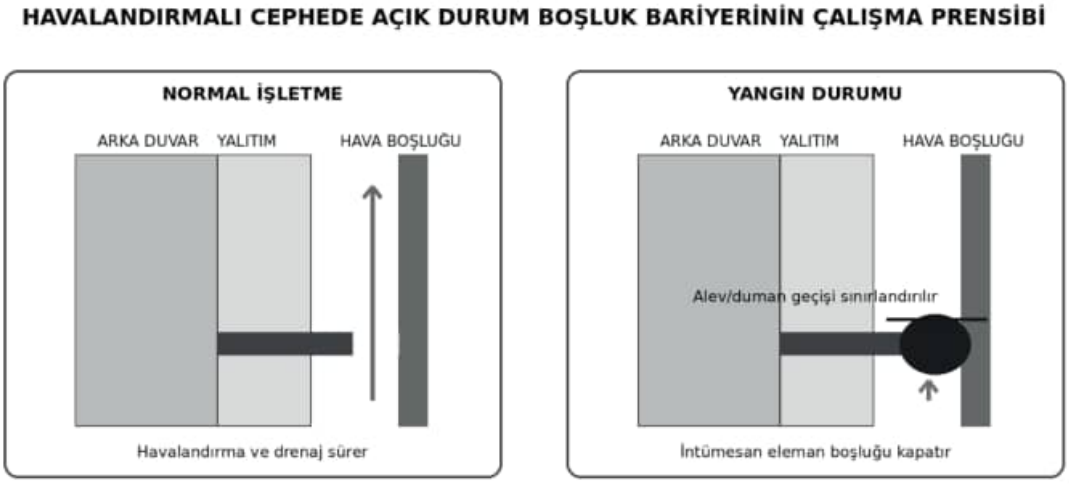


Şekil 2. Döşeme kenarı-giydirme cephe birleşiminde çevresel yangın bariyeri ve doğrulama mantığının şematik gösterimi (yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

4.2. Havalandırmalı cephelerde boşluk bariyerleri

Havalandırmalı cephede boşluk bariyerinin temel görevi, normal kullanımda gerekli havalandırma ve drenaj işlevini mümkün olduğunca korurken, yangın halinde cephe arkasındaki gizli boşluğu kompartıman sınırlarında bölümlendirmektir. Kapalı bariyerler boşluğu sürekli kapatırken, açık durum bariyerleri normal işletmede belirli bir hava aralığı bırakır ve intümesan bileşenin ısıyla genleşmesi sonucunda yangın sırasında bu aralığı kapatır [3]. Çalışma prensibi basit görünse de performans, bariyerin boşluk içindeki konumu ve cephe geometrisinden bağımsız değildir.

Čolić ve Pečur [8], bariyer sayısı ve konumunun yangın yayılımı üzerinde belirleyici olabildiğini deneysel olarak göstermiştir. Bu nedenle projede yalnızca 'cavity barrier kullanılacaktır' ifadesi yeterli değildir. En azından yatay bariyerlerin hangi kat/döşeme veya açıklık çizgilerinde, dikey bariyerlerin hangi bölümlendirme hatlarında konumlanacağı; maksimum boşluk genişliği, açık durum hava aralığı, köşe ve birleşimler, alt konstrüksiyon/braket geçişleri ve bariyerin sabitleme biçimi detaylandırılmalıdır. Özellikle bariyerin braket çevresinde oyularak sürekliliğinin bozulması veya iki parçanın uç uca ancak sızdırmaz birleşim oluşturmadan bırakılması, tasarlanan bölümlendirme etkisini zayıflatabilir.



Şekil 3. Açık durum havalandırmalı boşluk bariyerinin normal işletme ve yangın durumundaki çalışma prensibi (yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

4.3. Lineer derzler ve servis geçişleri

Cephe yangın güvenliği, yalnızca dış kabuk elemanlarıyla sınırlı değildir. Yangın kompartımanını oluşturan duvar ve döşemelerin hareket derzleri ile elektrik/mekanik tesisat geçişleri de aynı bütünlüğün parçalarıdır. BYKHY, döşemeden geçen su, elektrik, ısıtma ve havalandırma tesisatı çevresinin açıklık kalmayacak şekilde en az döşeme yangın dayanım süresi kadar yangın ve duman geçişine karşı yalıtılmasını istemektedir [1]. Bu tür penetrasyonlar için EN 1366-3, lineer derzler için EN 1366-4 temel deney referanslarıdır [16,17].

Uygulama açısından ortak ilke, yangın dayanımının bir 'malzeme etiketi' değil, tanımlı bir birleşim konfigürasyonunun performansı olmasıdır. Geçen tesisatın türü ve çapı, duvar/döşeme tipi, açıklık boyutu, derz genişliği, destek malzemesi ve ürün kalınlığı test edilen veya teknik olarak değerlendirilen alan içinde kalmalıdır. Bu yaklaşım, döşeme kenarı perimeter seal için de aynıdır: tasarım, ürün seçimi ve saha kontrolü tek bir kanıt zincirinin farklı aşamalarıdır.

5. MEVZUATTAN SAHAYA: TASARIM, DOĞRULAMA VE KALİTE KONTROLÜ

Pasif yangın güvenliğinde sık karşılaşılan uygulama sorunu, mevzuatta tanımlanan performans hedefinin proje detayına ve daha sonra şantiye kontrolüne aynı açıklıkta aktarılamamasıdır. Bu nedenle cephe projesinde önce yangın kompartıman sınırlarının kat planı ve cephe kesitleri üzerinde işaretlenmesi, daha sonra bu sınırların cepheye ulaştığı tüm noktalarda uygun pasif yangın detayının seçilmesi gerekir. Tasarımcı, her detay için performans hedefini ve kabul edilebilir teknik kanıtı şartnamede tanımlamalıdır.

Tablo 2. Başlıca cephe pasif yangın detayları için mevzuat-hedef-doğrulama-saha kontrol eşleştirmesi.

Uygulama detayı	Mevzuat / performans hedefi	Teknik doğrulama yaklaşımı	Saha kontrolünde kritik noktalar
Geleneksel dıştan ısı yalıtım sistemi	Madde 27: sistem sertifikasyonu; açıklık çevresi ve yükseklik hükümleri	Akredite laboratuvarca ilgili standart kapsamında sertifikalandırılmış sistem; sistem detayının piyasaya arz dokümanıyla eşleşmesi	Yalıtım/sıva bileşimi, yangın bariyeri genişlikleri, pencere çevresi, sistem dışı malzeme değişikliği
Döşeme kenarı - giydirme cephe	Döşeme yangın dayanımı kadar yalıtım; katlar arası alev/sıcak gaz geçişinin sınırlandırılması	EAD 350141 kapsamındaki ETA ve uygulamaya uygun EN 1364-4 / EN 1364-3 deney-sınıflandırma kanıtı	Derz genişliği, altlık, mineral yün yoğunluk/ sıkıştırma, kaplama kalınlığı, uygulama yüzü, süreklilik, cephe hareketi
Havalandırmalı cephe boşluğu	Madde 27: cephe ve yalıtım en az zor yanıcı; kompartıman hedefinin cephede sürdürülmesi	Proje-özel cavity barrier yerleşim planı; üretici test/teknik değerlendirme kapsamıyla uyumlu boşluk ve altlık geometrisi	Yatay/dikey bariyer sürekliliği, açık durum aralığı, braket ve köşeler, sabitleme, kesilmiş/eksik intümesan eleman
Lineer derz	Kompartıman sınırında yangın dayanımının korunması	EN 1366-4 veya uygulamaya özgü giydirme cephe standardı; EN 13501-2 sınıflandırması	Derz yönü/genişliği, dolgu ve kaplama kalınlığı, hareket gereksinimi, altlık
Servis geçişi	Döşeme/duvar yangın dayanımı kadar yangın ve duman sızdırmazlığının korunması	EN 1366-3 kapsamında test edilmiş/uygun değerlendirilmiş penetrasyon sistemi	Tesisat tipi/çapı, açıklık, dolgu derinliği, mesafeler, ek tesisat sonrası bozulma

Belge kontrolünde ‘yangın sertifikası’ gibi genel ifadeler yerine, uygulama ile kanıt arasındaki eşleşme sorgulanmalıdır. Örneğin perimeter seal için ETA veya sınıflandırma raporunda belirtilen derz aralığı 50-200 mm ise sahada 250 mm’lik bir boşluğun aynı ürünle kapatılması, ürünün genel olarak yangına dayanımlı olması gerekçesiyle kabul edilmemelidir. Benzer şekilde, testte kullanılan destek malzemesinin yoğunluğu veya kaplama kalınlığı değiştirilmişse performansın geçerliliği teknik değerlendirme ile gösterilmelidir. Bu yaklaşım, ürün markasından bağımsız olarak uygulanabilir ve pasif yangın sistemlerinin izlenebilirliğini güçlendirir.

Saha kalite kontrolü için fotoğraf kaydı, lokasyon kodu, uygulanan sistem/ETA referansı, derz veya boşluk ölçüsü, uygulama kalınlığı ve montajı yapan ekibin kontrol formu gibi veriler as-built dosyasında tutulabilir. Cephe kapanmadan önce yapılan bu kayıt, sonradan erişilemeyen cavity barrier ve perimeter seal detayları için özellikle değerlidir. Uygulama sırasında cephe braketlerinin yeri, MEP değişiklikleri veya derz ölçülerinde oluşan sapmalar, yangın danışmanı/tasarımcı tarafından onaylanmadan standart detayın dışında bırakılmamalıdır.

6. DEĞERLENDİRME

Türkiye’deki mevcut düzenleme, cephe pasif yangın güvenliği için üç önemli avantaj sağlamaktadır. Birincisi, dış cephe malzeme sınıfını bina yüksekliğiyle ilişkilendirerek temel bir malzeme güvenliği seviyesi tanımlar. İkincisi, geleneksel dıştan ısı yalıtım sistemini bileşenlerin toplamı olarak görür ve akredite laboratuvar sertifikasyonu ister. Üçüncüsü, giydirme cephede döşeme kesişimini açıkça yangın dayanımı gerektiren bir birleşim olarak tanımlar [1,2]. Bu hükümler, literatürün ‘malzeme + sistem + arayüz’ yaklaşımıyla büyük ölçüde örtüşmektedir [4-10].

Buna karşılık havalandırmalı cephelerde Madde 27/3(b)'nin ağırlığı malzeme sınıfı üzerindedir. Havalandırma boşluğunun katlar arası ve bölmeler arası yayılım yolu olabileceği deneysel ve olay temelli çalışmalarda açık biçimde gösterilmiş olmasına rağmen [3,7-9], bariyerlerin hangi kompartıman hatlarında kullanılacağı, yatay-dikey yerleşim ilkeleri ve açık durum bariyerlerinin performans koşulları BYKHY içinde ayrıntılı bir uygulama diliyle tanımlanmamaktadır. Bu nedenle kısa vadede mevzuat değişikliği beklenmeksizin, yangın projelerinde ve teknik şartnamelerde cavity barrier yerleşim planının zorunlu bir tasarım çıktısı haline getirilmesi önemli bir iyileştirme olabilir.

Benzer bir açıklık ihtiyacı döşeme kenarı birleşimlerinde de görülmektedir. 'Döşeme yangın dayanımı kadar yalıtım' doğru bir performans hedefidir; ancak bunun sahadaki karşılığı, sıradan bir yangın mastik veya taş yünü yerleştirilmesinden ibaret değildir. EAD 350141 ve EN 1364-4 çerçevesi, giydirme cephe çevresel derzinin gerçek uygulama geometrisi içinde değerlendirilmesi gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır [11,15]. Bu nedenle proje dokümanlarında sadece malzeme adı yerine, hedef E/I süresi ve ETA/test kapsamıyla eşleşen sistem konfigürasyonunun tarif edilmesi daha güvenli bir uygulama yaklaşımıdır.

Bu çerçevede uluslararası standartların bu çalışmadaki rolü, farklı ülkelerin bütün düzenleme modellerini karşılaştırmak değil; Türkiye'deki mevzuat hedeflerinin uygulamada nasıl kanıtlanabileceğini açıklamaktır. Böylece tasarımcı için okunabilir bir zincir oluşur: BYKHY performans hedefini belirler; ilgili EAD/EN test ve sınıflandırma yolu çözümün teknik kanıtını verir; ETA veya sınıflandırma raporu uygulama alanını sınırlar; saha kalite kontrolü ise projede tanımlanan sistemin gerçekten uygulanıp uygulanmadığını doğrular.

7. SONUÇ

Cephelerde pasif yangın güvenliği, yangın kompartımanının bina kabuğuna ulaştığı noktaların sürekliliği üzerinden ele alınmalıdır. Geleneksel cephede sistem sertifikasyonu ve açıklık çevresi bariyerleri, giydirme cephede döşeme kenarı çevresel yangın bariyeri, havalandırmalı cephede ise boşluk bölümlendirmesi aynı temel amaca hizmet eder: alev, sıcak gaz ve dumanın bir kompartımandan diğerine kontrolsüz geçişini sınırlandırmak.

BYKHY Madde 27, Türkiye için güçlü bir başlangıç çerçevesi sunmaktadır. Bununla birlikte havalandırmalı cephelerde cavity barrier yerleşimi ve performans kriterlerinin projelerde daha açık tarif edilmesi; döşeme kenarı birleşimlerinde ise EAD 350141 esaslı ETA ve EN 1364-4 gibi uygulamaya özgü kanıtların esas alınması, mevzuat hedefinin sahada daha güvenilir biçimde karşılanmasını sağlayacaktır.

Literatürün ortak mesajı, cephe yangın davranışının tek bir malzemenin sınıfından türetilemeyeceğidir. Boşluk geometrisi, bariyer sayısı ve konumu, cephe katmanlarının birleşimi, spandrel/perimeter seal konfigürasyonu ve uygulama kalitesi performansı belirleyen değişkenlerdir [6-10]. Bu nedenle pasif yangın detaylarının tasarım aşamasında kompartıman planıyla eşleştirilmesi, teknik kanıtın proje konfigürasyonuna uygunluğunun kontrol edilmesi ve cephe kapanmadan önce saha kayıtlarının tamamlanması önerilmektedir.

ACT ve benzeri gelişen cephe teknolojileri gelecekte ayrı yangın mühendisliği çalışmaları gerektirecek olmakla birlikte, Türkiye'de kısa vadede en yüksek uygulama karşılığının geleneksel, giydirme ve havalandırmalı cephelerde mevcut pasif yangın detaylarının doğru projelendirilmesi ve denetlenmesiyle elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 19.12.2007 tarih ve 26735 sayılı Resmî Gazete; Madde 27, 16.03.2015 tarihli değişiklik ve güncel hükümleri.

[2] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu, Ankara, 2024.

[3] AYCI, T., Havalandırmalı Cephe Sistemlerinde Yangın Güvenliği, Mimarlık ve Yangın Sempozyumu 2025, İTÜ Taşkışla, İstanbul, s. 263-273, 2025.

[4] YAMAN, M.; DEMİREL, F., Cephelerde Yangın Güvenlik Önlemleri ve Mevzuatların Karşılaştırmalı Analizi, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2(1), s. 88-108, 2020.

[5] TÜRKKAN, S.; SOYDEMİR, M., Pasif Yangın Durdurucu Malzemelerin Test Standartları, Standartlardaki Güncel Değişiklikler ve Kriterler, Mühendis ve Makina, 56(661), s. 48-54, 2015.

[6] BJEGOVIĆ, D.; BANJAD PEČUR, I.; MILOVANOVIĆ, B.; JELČIĆ RUKAVINA, M.; BAGARIĆ, M., Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems, Građevinar, 68(5), s. 357-369, 2016. DOI: 10.14256/JCE.1347.2015.

[7] ASIMAKOPOULOU, E.K.; KOLAITIS, D.I.; FOUNTI, M.A., Performance of a ventilated-façade system under fire conditions: An experimental investigation, Fire and Materials, 44, s. 776-792, 2020. DOI: 10.1002/fam.2863.

[8] ČOLIĆ, A.; BANJAD PEČUR, I., Influence of Horizontal and Vertical Barriers on Fire Development for Ventilated Façades, Fire Technology, 56, s. 1725-1754, 2020. DOI: 10.1007/s10694-020-00950-w.

[9] ÇALIŞKAN, M.; KORKMAZ, E., Havalandırmalı Giydirme Cephe (Rainscreen) Sistemlerinde Yangın Yayılımının Deneysel Çalışmalar ve Gerçek Olaylar Üzerinden Karşılaştırılması, Kent Akademisi, 16(1), s. 632-661, 2023. DOI: 10.35674/kent.1189291.

[10] EIZAGUIRRE-IRIBAR, A.; TRIFONOVA, R.S.; ENS, P.; OLANO-AZKUNE, X., Fire Safety of Curtain Walling: Evidence-Based Critical Review and New Test Configuration Proposal for EN 1364-4, Fire, 8(8), 311, 2025. DOI: 10.3390/fire8080311.

[11] EOTA, EAD 350141-00-1106, Fire Stopping and Fire Sealing Products - Linear Joint and Gap Seals, European Organisation for Technical Assessment, 2017.

[12] TS EN 13501-1, Yapı mamulleri ve yapı elemanları - Yangın sınıflandırması - Bölüm 1: Yangına tepki deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma.

[13] TS EN 13501-2, Yapı mamulleri ve yapı elemanları - Yangın sınıflandırması - Bölüm 2: Yangına dayanım deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma.

[14] TS EN 1364-3, Yük taşımayan elemanlar için yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 3: Giydirme cepheler - Tam düzenleme.

[15] TS EN 1364-4, Yük taşımayan elemanlar için yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 4: Giydirme cepheler - Kısmi düzenleme.

[16] TS EN 1366-3, Servis tesisatları için yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 3: Geçiş contaları.

[17] TS EN 1366-4, Servis tesisatları için yangına dayanıklılık deneyleri - Bölüm 4: Doğrusal birleşim contaları.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Dr. Tolga AYCI

Dr. Tolga Aycı lisans eğitimini 2012 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği bölümünde tamamladı. Yüksek lisans ve doktora eğitimlerini İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği anabilim tamamlayarak 2025 yılında "gemilerin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi" konusundaki tezi ile doktor unvanı almıştır.

Proje yönetimi, mühendislik, satış ve pazarlama departmanlarında 15 yıla yakın iş deneyimine sahip olan Tolga Aycı, pasif yangın koruma sistemleri global üreticisi Nullifire markasını da bünyesinde bulunduran yapı malzemeleri üreticisi Tremco CPG firmasında İş Geliştirme Müdürü olarak çalışmaktadır. Türkiye Yangından Korunma Derneği yönetim kurulu üyesi ve yapı malzemeleri teknik komitesi başkanı olan Tolga Aycı, evli ve 1 çocuk babasıdır.

Tunahan DEMİRBAŞ

2014 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Kariyerine enerji ve endüstri tesislerinin inşaatında saha mühendisi olarak başlamıştır. Cephe sektöründe şantiye şefliği görevlerinde bulunmuştur. fischer Türkiye'de 5 yıl boyunca saha mühendisi olarak görev yaptıktan sonra, son 4 yıldır Teknik Pazarlama Müdürü olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Görevi kapsamında pasif yangın durdurucu sistemler, cephe sistemleri, modüler askılama sistemleri, ankraj sistemleri ve yapısal güçlendirme çözümleri üzerine teknik ve sektörel çalışmalar yürütmektedir.

YÜKSEK BİNALARDA ÇATI KAPLAMA MALZEMESİ YANICILIK SINIFI

Toros AĞABEYOĞLU
Bilal IĞDIR

ÖZET

Gün geçtikçe teknoloji ve sanayinin gelişmesiyle birlikte gerek dünyada gerek ülkemizde yapılaşma ve buna bağlı olarak yüksek bina sınıfındaki hafif strüktür yapılar artış göstermektedir. Bu nokta özellikle endüstriyel veya depolama amaçlı binalar öncelikli hafif strüktüre sahip yüksek bina projelerinde olmak üzere, havaalanları, organize sanayi bölgeleri gibi alanlarda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik içerisindeki yüksek binalar için çatı kaplama malzemelerinin yanıcılık sınıfı kuralları yoruma açık çelişkiler barındırmaktadır. Bu noktada birçok projede küreselde kullanılabilen birçok malzemenin yönetmeliğe katı bir yorum getirilmesiyle ülkemizde kullanılamadığı durumlar oluşmaktadır. İlgili durum, özellikle uluslararası normların referans alındığı projelerde "Amerika'da veya Avrupa'da kullanılabilen bir ürün neden Türkiye'de kullanılamıyor" sorusunu doğurmaktadır. İlgili durum ülkemizin küresel alanda itibarını zedelemekte ve bilimsel gelişmelere alakasını zayıf göstermektedir.

İlgili yazıda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik yüksek binalarda çatı kaplama malzemeleri yanıcılık sınıfı maddeleri, ülkemizin bağlı olduğu Avrupa standartları, uluslararası standartlar, sektör paydaşlarının yaklaşımları ve uygulanabilirliği yönleriyle ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler: Yüksek bina çatı tasarımı, Çatı kaplama malzemeleri yanıcılık sınıfı, TPO Membran, EPDM Membran, PVC Membran, Kenet Çatı

FLAMMABILITY CLASS OF ROOF COVERING MATERIAL IN HIGH-RISE BUILDINGS

ABSTRACT

With the advancement of technology and industry, construction and, consequently, lightweight structures in the high-rise building category are increasing both globally and in our country. This is particularly evident in high-rise projects with lightweight structures, especially for industrial or storage buildings, as well as in areas such as airports and organized industrial zones. However, the flammability classification rules for roofing materials in the Regulation on Fire Protection of Buildings contain ambiguities and contradictions open to interpretation. In many projects, this results in many materials that are usable globally being unusable in our country due to a strict interpretation of the regulation. This situation raises the question, "Why can't a product used in America or Europe be used in Turkey?", especially in projects where international norms are referenced.

This situation damages our country's global reputation and weakens its engagement with scientific advancements. The relevant article examines the Regulation on Fire Protection of Buildings in terms of flammability class of roofing materials in high-rise buildings, European standards to which our country adheres, international standards, the approaches of sector stakeholders, and its applicability.

Key words: High-rise building roof design, Roofing materials flammability class, TPO Membrane, EPDM Membrane, PVC Membrane, Standing Seam Roofing

1. GİRİŞ

Günümüz mimarisinin temeli konumunda bulunan Le Corbusier'in editörlüğünü yaptığı "L'Esprit Nouveau" dergisinde belirtilmiş, daha sonra 1923'te yayımlanan ve mimarlık tarihinin en etkili kitaplarından biri olan "Bir Mimarlığa Doğru" (Vers une architecture) adlı eserinde detaylandırılmış 5 temel ilke içerisinde Çatı Bahçesi kendini oldukça farklı bir konuma yerleştirmiştir. Öncesinde çatı elemanı özellikle yağmur suyunu akıtmak için eğimli yapılırken Le Corbusier'in 5 temel yaklaşımıyla kullanım alanı haline getirilebilmesi için düz çatı fikri yayılmıştır. Bu noktada "Çatı" geçmiş zamanlara göre anlam ve değerini daha da arttırmıştır. Bina yapısı elemanları yönünden değeri daha da artmış olan "Çatı" özelinde birincil amacın yağmur suyunun birikmesi ve yapı içerisine geçişini engellemek olduğu ve mimarlığın bu açıdan düz çatıda da ilgili konuyu ele alması süreçleri başlamıştır [1].

Günümüzde gelinen noktada çatının rüzgar yükü, (bölgesine göre) kar yükü, yağmur suyunun engellenmesi, taşınan yük, çatı elemanları ve can ve yangın güvenliği kurallarını sağlamak gibi gereksinimlerini ele almak projelerin en başında kritik öneme sahip durumdadır. Bu noktada projelerde çatı taşıyıcı sistemleri, çatı elemanları ve çatı kaplama malzemelerinin yangına dayanıklılık gereklilikleri büyük önem arz etmektedir.

Can ve Yangın Güvenliği Temel prensipleri yönünden malzemelerin yanıcılık sınıfı değerleri, yangın başlatıcı unsurları azaltmak ve yangının yayılmasını engellemek adına büyük önem arz etmektedir. Bu noktada BYKHY içerisinde Döşeme, Duvar, Cephe ve Çatı kaplama malzemelerinin olması gereken minimum yanıcılık sınıfı değerleri belirtilmektedir. İlgili bina elemanları içerisinde çatı kaplama malzemesi oldukça kritik öneme sahiptir. Zira çatının yanması durumunda binanın stabilizasyonu oldukça etkilemekte, yangının yayılması veya bina içerisine damlama yoluyla tesir etmesi riskleri oluşmaktadır.

NFPA standartları, uluslararası standartlar ve BYKHY (Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik) ve can ve yangın güvenliği temel prensipleri yönünden bina yüksekliği çatı kaplama malzemeleri için istenen yancılık sınıfı değerinde dolaylı veya doğrudan büyük bir rol oynamaktadır. Ülkemizde BYKHY içerisinde çatı kaplama malzemesi yanıcılık sınıfı gereklilikleri konusunda özellikle Yüksek Binalar için olan kurallar konusunda karışıklıklar, yetkili mercilerin bakış açısına göre farklı yaklaşımlar olması karmaşaya sebebiyet vermekte ve dünya genelinde kullanılan malzemelerin ülkemizde kullanılmamasına yol açmaktadır. İlgili karışıklık Endüstriyel Tesisler başta olmak üzere hafif strüktüre sahip diğer kullanım sınıflarına göre gelişen teknoloji ve endüstriyelleşme ile daha farklı ve büyük sorunlar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, endüstriyel tesislerde çatı kaplama malzemelerinin BYKHY gereklilikleriyle anlatmak istenen, ilgili yaklaşımlardan etkilenen malzemeler ve ülkedeki endüstriyelleşmeye etkileri ele alınacaktır.

2. BYKHY Yüksek Binalarda Çatı Kaplama Malzemesi Yanıcılık Sınıfı Maddeleri

BYKHY'de çatılar hakkındaki esasların belirtildiği Madde 28'in üçüncü fıkrası b bendinde göre "Yüksek binalarda ve bitişik nizam yapılarda; çatı taşıyıcı sistemi ve çatı kaplamalarının yanmaz malzemeden" imal edilmesi gerektiği belirtmektedir. Bu maddeyi takiben, BYKHY Ek-2/Ç Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5'e Göre Yanıcılık Sınıfları listesine gidildiğinde ise "Malzemenin Yanıcılık Özelliği" olarak "yanmaz" diye bir sınıflandırmanın bulunmadığı; bu sebeple kimi danışman ve yetkili merciinin "Hiç Yanmaz A1" yanıcılık sınıfını, kimilerinin "Zor Yanıcı A2-s1-d0" yanıcılık sınıfını, kimilerinin de "Zor Alevlenici en yüksek değeri olan B" yanıcılık sınıfını referans aldığı görülmektedir. BYKHY net bir ifadeye sahip olmadığı sebebiyle ilgili konu özelinde farklı yorumlar oluşmaktadır. İlgili maddeler Şekil 1 ve Şekil 2 içerisinde verilmiştir.

(2) Çatı kaplamalarının BROOF sınıfı malzemelerden, çatı kaplamaları altında yer alan yüzeyin veya yalıtımın en az zor alevlenici malzemelerden olması gerekir. Ancak, çatı kaplaması olarak yanmaz malzemelerin kullanılması durumunda üzerine çatı kaplaması uygulanan yüzeyin en az normal alevlenen malzemelerden olmasına izin verilir.

(3) Yüksek binalarda ve bitişik nizam yapılarda;

a) Çatıların oturdukları döşemelerin yatay yangın kesici niteliğinde,

b) Çatı taşıyıcı sistemi ve çatı kaplamalarının yanmaz malzemeden,

olması gerekir.

(4) **(Ek:RG-20/11/2021-31665-CK-4825/8 md.)** 21 inci maddenin beşinci fıkrasında belirtilen alanlarda yapılacak binaların çatı kaplamalarının; çatı deresi, baca kenarı, yağmur oluğu ve borusu gibi malzemelerin, çatı taşıyıcı sisteminin hiç yanmaz malzemeden, çatı kaplamaları altında yer alan yüzeyin veya yalıtımın en az zor yanıcı malzemeden olması gerekir.

Şekil 1. BYKHY madde 28 [2-3]

Ek-2/Ç Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5'e Göre Yanıcılık Sınıfları [1][3]
(Değişik: 10/8/2009-2009/15316 K.)

Döşemeler Dışındaki Yapı Malzemeleri İçin Yanıcılık Sınıfları	
Malzemenin Yanıcılık Özelliği	TS EN 13501-1[2]
Hiç Yanmaz	A1
Zor Yanıcı	A2 – s1, d0
Zor Alevlenici	B, C – s1, d0
	A2 – s2, d0 A2, B, C – s3, d0
	A2, B,C – s1, d1 A2, B,C – s1, d2
(en az)	A2, B, C – s3, d2
Normal Alevlenici0	D – s1, d0 D – s2, d0 D – s3, d0 E
	D – s1, d2 D – s2, d2 D – s3, d2
(en az)	E – d2
Kolay Alevlenici	F

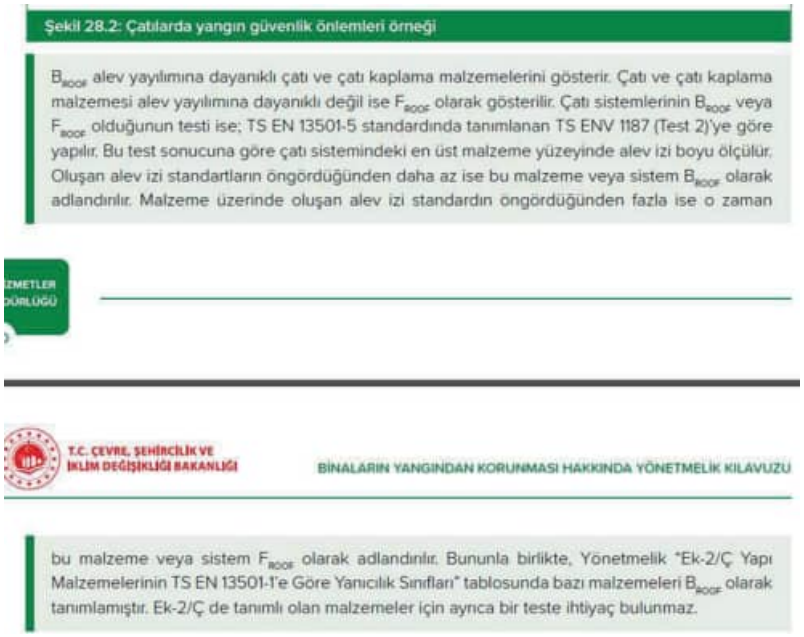
Şekil 2. BYKHY Ek-2/Ç Yapı malzemelerinin TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5'e göre yanıcılık sınıfları [3]

Söz konusu çatı kaplama malzemeleri olduğunda ise BYKHY Ek-2/Ç Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5'e Göre Yanıcılık Sınıfları tablosunda Çatı Kaplamaları İçin Yanıcılık Sınıfları kısmında ifade edildiği üzere TS EN standartları içerisinde TS EN 13501-5 Yapı mamulleri ve yapı elemanları- Yangın sınıflandırması- Bölüm 5: Çatıların dış yangınlara maruz bırakılması standardı ile çatı kaplama malzemeleri yanıcılık sınıfı belirlenmektedir. İlgili ek tablosunda "*test edilmesine gerek olmadan "Dış yangın performansı" özelliklerinin tüm gerekliliklerini karşılayan* $\mathbf{B}_{roof}$ *çatı kaplaması terimi, çatı teşkilinde en üst tabakayı oluşturan ürünü tanımlamak için kullanılır*" ifadesi, yönetmeliğin Çimento esaslı elyaf levha, profilli metal tabakalar gibi malzemeler için dahi çatıda $\mathbf{B}_{roof}$ özelliğini sağlayıp sağlamadığına bakmakta ve teste gerek olmaksızın $\mathbf{B}_{roof}$ özelliğini sağladığını belirtmektedir. Yani; bu malzemeler dahi çatı kaplama malzemeleri yönünden yanmaz sınıfında olup olmadığı anlaşılması için test edilmelidir. Ancak; yönetmeliğin çatı kaplamaları için belirttiği TS EN 13501-5 standardında en fazla $\mathbf{B}_{roof}$ seviyesi olduğu için de çıkmaz bir noktaya ulaşılmaktadır. İlgili çıkmaz nokta, belirtilen ifadenin devamında yer alan "çatı kaplama teşkilindeki en üst tabakayı oluşturan ürün" tabiriyle aşılmaktadır. Özetle; BYKHY'nin madde 28-3, Ek-2 Ç tablosu Çatı Kaplamaları İçin Yanıcılık sınıfı ve Yanıcılık Sınıfı $\mathbf{B}_{roof}$ çatı Kaplama Malzemeleri kısımlarında yer alan ifadelerle; yüksek binalarda çatı kaplamasının en üst katmanının $\mathbf{B}_{roof}$, devamında altında yer alan katmanların yanmaz malzeme olmasını talep ettiği anlaşılmaktadır. **İlgili madde Şekil 3 içerisinde belirtilmektedir**.

Çatı kaplamaları İçin Yanıcılık Sınıfları	
Malzemenin Yanıcılık Özelliği	TS EN 13501-5'e göre (2)
Dış Alev Yayılımına Dayanıklı	B_{ROOF}
Yanıcılık Sınıfı B_{ROOF} çatı kaplaması malzemeleri	
Test edilmesine gerek olmadan "Dış yangın performansı" özelliklerinin tüm gereklerini karşılayan B_{ROOF} çatı kaplaması terimi, çatı teşkilinde en üst tabakayı oluşturan ürünü tanımlamak için kullanılır.	
Arduvazlar: Doğal arduvazlar, suni arduvazlar	Ek-2/C sınırlamalarına uygun
Kiremitler: Taş, beton, kil, seramik veya çelik çatı kiremitleri	Ek-2/C sınırlamalarına uygun. Herhangi dış kaplamasının inorganik olması veya PCS (Brüt Kalori Değeri) ≤ 4MJ/m² veya kütlesinin ≤ 200 g/m² olması
Çimento esaslı elyaflı levhalar: Düz ve profilli tabakalar, arduvazlar	Ek-2/C sınırlamalarına uygun veya PCS (Brüt Kalori Değeri) ≤ 4MJ/m2 olması
Profilli metal tabakalar: Alüminyum, alüminyum alaşım, bakır, bakır alaşım, çinko, çinko alaşım, kaplanmamış çelik, paslanmaz çelik, galvanize çelik, halka sac kaplanmış çelik, vitrifiye emaye çelik	Kalınlık ≥0.4 mm, herhangi bir dış kaplamasının inorganik olması veya PCS (Brüt Kalori Değeri) ≤ 4MJ/m² veya kütlesinin ≤ 200 g/m² olması
Yassı metal tabakalar: Alüminyum, alüminyum alaşım, bakır, bakır alaşım, çinko, çinko alaşım, kaplanmamış çelik, paslanmaz çelik, galvanize çelik, halka sac kaplanmış çelik, vitrifiye emaye çelik	Kalınlık ≥ 0,4 mm, herhangi dış kaplamasının inorganik olması veya PCS (Brüt Kalori Değeri) ≤ 4.0 MJ/m² veya kütlesinin ≤ 200 g/m² olması gerekir.)
Normal kullanımda yan sütunda listelenen inorganik örtülerle tamamen kaplanması amaçlanan malzemeler	En az 50 mm kalınlığında veya ≥80 kg/m² kütlede gevşek serimli çakıl (agrega büyüklüğü en az 4 mm en fazla 32 mm). En az 30 mm kalınlığında kum/çimento şap, en az 40 mm kalınlığında dökme suni taş veya mineral altyüzeyler
(1) Bu tablolar, TS EN 13501-1'e göre malzemelerin yanıcılık sınıflarını göstermektedir. TS 1263'de verilmiş olan yanıcılık sınıflarına sahip yapı malzemelerinin, TS EN 13501-1'de verilen yanıcılık sınıflarına denkliği için, söz konusu yapı malzemelerinin TSE EN 13501-1'de belirtilmiş olan	

Şekil 3. BYKHY Ek-2/Ç, TS EN 13501-5'e göre çatı kaplamaları için yanıcılık sınıfları ve yanıcılık sınıfı B_{roof} çatı kaplama malzemeleri [3]

İlgili standartta ise en fazla B_{roof} sınıfının belirlenebildiği Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2024 yılında yayınladığı Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzunda aşağıda Şekil-4'te görüleceği biçimde ifade edilmektedir.



Şekil 28.2: Çatılarda yangın güvenlik önlemleri örneği

B_{ROOF} alev yayılımına dayanıklı çatı ve çatı kaplama malzemelerini gösterir. Çatı ve çatı kaplama malzemesi alev yayılımına dayanıklı değil ise F_{ROOF} olarak gösterilir. Çatı sistemlerinin B_{ROOF} veya F_{ROOF} olduğunun testi ise; TS EN 13501-5 standardında tanımlanan TS ENV 1187 (Test 2)'ye göre yapılır. Bu test sonucuna göre çatı sistemindeki en üst malzeme yüzeyinde alev izi boyu ölçülür. Oluşan alev izi standartların öngördüğünden daha az ise bu malzeme veya sistem B_{ROOF} olarak adlandırılır. Malzeme üzerinde oluşan alev izi standardın öngördüğünden fazla ise o zaman

bu malzeme veya sistem F_{ROOF} olarak adlandırılır. Bununla birlikte, Yönetmelik "Ek-2/Ç Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1'e Göre Yanıcılık Sınıfları" tablosunda bazı malzemeleri B_{ROOF} olarak tanımlamıştır. Ek-2/Ç de tanımlı olan malzemeler için ayrıca bir teste ihtiyaç bulunmaz.

Şekil 4. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu Madde 28 açıklaması [4]

TS EN standardı, BYKHY yönetmelik maddeleri, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınladığı BYKHY Yönetmelik Kılavuzu açıklaması bilgileri birleştiğinde çatı kaplama malzemelerinin $\mathbf{B}_{roof}$ yanıcılık sınıfında olabileceği, $\mathbf{F}_{roof}$ yanıcılık sınıfında olabileceği veya Ek 2/Ç de belirtilen teste tabi olmayan malzemeler olabileceği anlaşılmaktadır. Bu durumda resmi makam açıklamaları, yönetmelikler ve standartlar içerisinde de çatı kaplama malzemeleri için "Yanmaz", "Hiç Yanmaz", "Zor Yanıcı" veya "Zor Alevlenici" yanıcılık sınıflarının belirtilemediği açıkça görülmektedir.

TS EN 13501-5 standardı daha detaylı incelendiğinde ise Bakanlık Açıklama Kılavuzunda belirtildiği üzere TS ENV 1187 Çatılarda Harici Yangına Maruz Kalma için Test Yöntemleri doğrultusunda çatı kaplamalarının dış ortam yangın performansları 4 ayrı test yönteminde en fazla $\mathbf{B}_{roof}$ olarak ifade edilmektedir. Konuya dair yapılan bir çalışmada [5] yer alan aşağıdaki tablo bu durumu net biçimde belirtmektedir.

Tablo 1. Çatıların Dış Yangın Testi özellikleri

Sınıflandırma Standardı	EN 13501-5			
Test Standardı	ENV 1187			
Test Yöntemi	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Temel alınan ulusal standartlar	DIN (Almanya)	NORDTEST (İskandinavya)	AFNOR (Fransa)	BSI (UK)
Test numunesi boyutu (m)	0,80 x 1,80	0,40 x 1,0	1,2 x 3,0	0,84 x 0,84
Test düzeneği eğimi	15° ve 45°	30°	5° veya 30°	45° veya düz yüzey
Yanıcı parçacık	Sepet içinde odun yongası	Küçük ahşap palet (Woodcrib)	Ahşap lifli levha (Wood fiberboard)	Gaz alevi
Rüzgar hızı (m/sn)	-	2 ve 4	3	6,7
Isıtma seviyesi (kW/m²)	-	-	12,5	12,5
Sınıflar	B_{ROOF} (t1) F_{ROOF} (t1)	B_{ROOF} (t2) F_{ROOF} (t2)	B_{ROOF} (t3) C_{ROOF} (t3) D_{ROOF} (t3) F_{ROOF} (t3)	B_{ROOF} (t4) C_{ROOF} (t4) D_{ROOF} (t4) E_{ROOF} (t4) F_{ROOF} (t4)

TS ENV 1187 açıklama tablosu [5]

Diğer yandan konu özelinde Türkiye Yangından Korunma Vakfı'nın 2024 yılında yayınladığı BYKHY Uygulama Kılavuzunda da açık biçimde ilgili madde bahsedilen çatılarda $\mathbf{B}_{roof}$ yanıcılık sınıfının aranmasının gerek ana bilim gerek yönetmelik gerekse de uygulanabilirlik yönünden daha doğru ve uygun olacağı görüşü belirtilmektedir. İlgili açıklama Şekil 6 ile aşağıda gösterilmiştir.

(3) Yüksek binalarda ve bitişik nizam yapılarda;

a) Çatıların oturdukları döşemelerin yatay yangın kesici niteliğinde,

b) Çatı taşıyıcı sistemi ve çatı kaplamalarının yanmaz malzemeden,

olması gerekir.

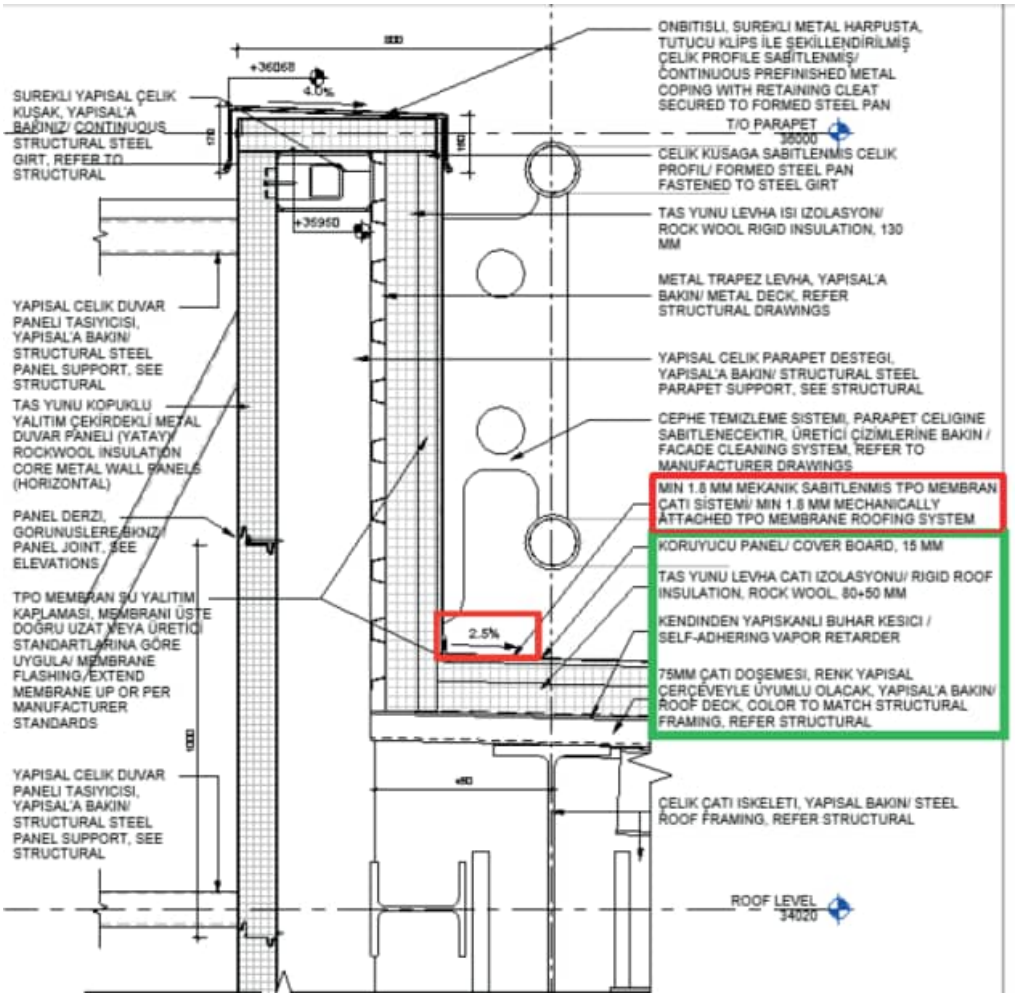
Yapı malzemelerinin yangına katkısını sınırlandırmak açısından en kritik uygulama cephe malzemeleridir. Bu nedenle Madde 27/1'e göre bina yüksekliği 28.50 m'den fazla olan binalarda dış cepheler için "zor yanıcı" malzeme kullanımına izin verilmesi sebebiyle, yönetmeliğin diğer hükümlerinde yanmaz malzeme tarif edilen uygulamalar için de aynı zamanda "zor yanıcı" malzemelerin kabul edilebilir olduğu değerlendirilir. Aksi halde yapı malzemesi olarak piyasaya arz edilen dökümanlarında "A2-s1,d0" sınıfı zor yanıcı özellikte olduğu beyan edilen taşyünü ve camyünü gibi yalıtım malzemeleri ile birçok alçıpanel ürünün, yönetmelikte yanmaz malzeme kullanılması istenen yerler için yetersiz kalması söz konusu olacaktır.

KOMİSYON GÖRÜŞÜ: Çatı kaplamalarının riskini değerlendirmek için Madde 28/2'de verdiğimiz açıklayıcı bilgiler doğrultusunda, yüksek binalarda çatı kaplamalarının yanmaz malzemeden olmasını gerektiren Madde 28/3-b'de değişiklik yapılmasına ve betonarme döşeme üzerinde yer alan veya en azından Ek-3/C tablosundaki süre kadar yangın dayanımı sağlayan bir yangın bariyeri üzerinde yer alan çatı kaplama sisteminin dışarıdan gelen yangına karşı "B_{ROOF}" sınıfında olabileceğinin belirtilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 6. TÜYAK 2024 BYKHY Uygulama Kılavuzu Madde 28 komisyon görüşü [6]

İlgili maddelere ek olarak NFPA standartları ve IBC gereklilikleri yönünden de yüksek binalarda çatı kaplama malzemeleri için ASTM E108 veya UL 790 standartlarına göre özel durumlar haricinde en yüksek değer olan Class A değil, en az Class B malzeme kullanılması talep edilmektedir.

Çatı kaplama malzemeleri yönünden ortaya konulan, BYKHY maddeleri çelişkisi, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yönetmelik Kılavuzu ilgili madde açıklaması, TS EN 1501-5 ve TS ENV 1187 gereklilik ve sınıflandırmaları, diğer danışmanların ve TÜYAK komisyonunun görüş ve açıklamaları ile net biçimde BYKHY madde 28 (3) içerisinde belirtilen yüksek binalarda çatı kaplama malzemeleri için en üst katmanda Broof yanıcılık sınıfının altındaki katmanlarda ise yanmaz malzeme kullanımının aranmasının uygun olduğudur. İlgili uygunluğa dair TPO membran kullanılan örnek çatı detayı Şekil 7'de belirtilmektedir.



Şekil 7. TPO membran kullanılan çatı detayı örneği

Şekil 7 örneğinde, tpo membran **kırmızı ile gösterilmiş, TS EN 13501-5 standardına uygun yangın test raporuna göre B_{roof}** olduğu ortaya konulmuş bir ürün kullanılmalıdır. Alt katmanda yeşil ile belirtilen ürünler ise yanmaz malzeme olarak en az A2-s1-d0 yanıcılık sınıfına sahip olmalıdır. İlgili yazıda ele alınan BYKHY madde 28 (2 ve 3) maddeleri çerçevesinde ortaya konulan yaklaşımlar, yorumlar ve açıklamalar doğrultusunda belirtilen çatı detayı, yüksek bina olan endüstriyel yapılar **için de yeterliliği ve uygunluğu sağlayabilmektedir.** Bu sayede **yüksek bina olan endüstriyel yapılarda** daha fazla seçenek ortaya çıkmakta, dünya genelinde kullanılabilen ürünlerin ülkemizde de kullanılabildiğini ortaya koymaktadır. Sonuç durumda gelişen endüstriyelleşme ile yatırımcıya daha fazla seçenek sunmak, sektörün gelişimine daha büyük katkılar sağlayacaktır.

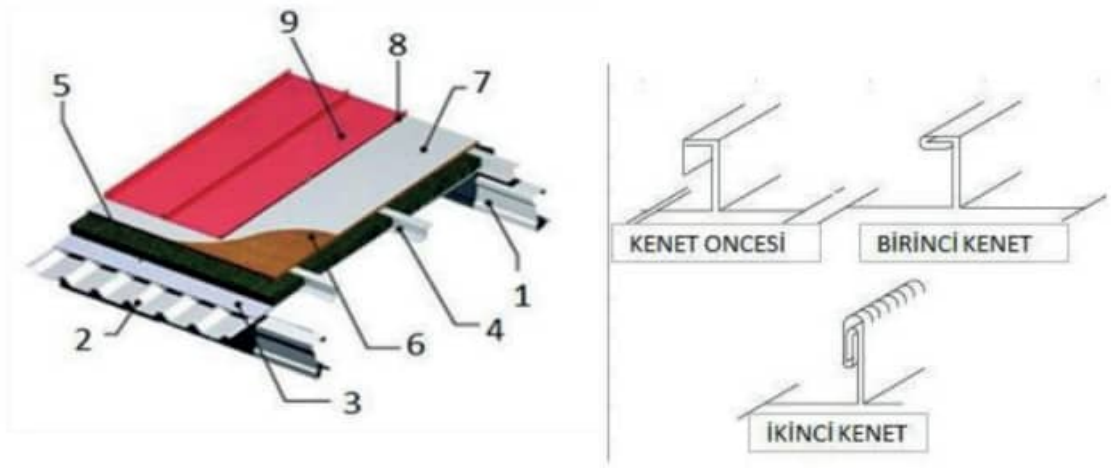
3. İlgili Maddenin ve Yaklaşımların Etkileri

İlgili madde özellikle endüstriyel alanda ülkemizin göstermiş olduğu gelişmeyle birlikte yaygınlaşan hafif strüktüre sahip yüksek bina sınıfındaki yapıları oldukça önemli biçimde etkilemektedir. Hafif strüktüre sahip binalarda taşıyıcı sistem olarak genellikle çelik taşıyıcı sistem kullanılmaktadır. Bu durumda çatı malzemelerinde yaşanacak en ufak ağırlık statik hesaplamayı ve buna bağlı olarak çelik taşıyıcı yapı elemanlarını etkilemektedir. Günümüz teknolojisinde çelik taşıyıcı sistemi olan endüstriyel binalar için yanmaz malzeme olarak çatı kaplama malzemesi yalnızca kenet çatı sistemi kullanılmasıyla makul ölçülerde oluşturulabilmektedir. Ancak; ilgili çalışma ve yaklaşım ile yüksek bina olan endüstriyel binaların çatı kaplaması olarak TPO Membran, EPDM Membran gibi membran esaslı malzemelerinde kullanımına olanak sağlanmış olacaktır. Bu durumda dünya genelinde oldukça yaygın olarak kullanılan malzemelerin ülkemizde de kullanılabileceği bir alt zemin oluşturulmuş olacaktır. TPO Membran gibi membran esaslı malzemelerin sektörde TS EN 13501-5 standardına göre akredite laboratuvar tarafından test edilmiş ve $\mathbf{B}_{roof}$ sınıfında olduğu yangın test raporu ile ortaya konabilmiş ürünleri mevcuttur.

Ek olarak kenet çatı sistemlerinin de bazı detaylarda membran bazlı su yalıtım malzemelerinin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili maddenin yorumlarının etkilerini anlayabilmek adına kenet çatı sisteminin çalışma prensibi, zafiyet noktaları ve membran bazlı su yalıtım malzemeleri ile birlikte kullanılması incelenmelidir.

3.1. Kenet Çatı Sistemi ve Membran Bazlı Su Yalıtım Malzemeleri Kullanımı

Çatı kaplama malzemesinin yanmaz malzeme istenmesi durumunda hafif strüktüre sahip yapıların çatı kaplama malzemesi kullanımına en uygun çatı kaplama sistemi kenet çatı sistemidir. Kenet çatı sistemi; metal panellerin yan yana getirilip kıvrılarak birbirine kenetlenmesiyle yüzeyde hiçbir vida veya bağlantı noktası görünümü bırakmadan oluşturulan çatı kaplama sistemidir [13]. İlgili sistem sayesinde TS EN 13501-1 test standardına göre veya BYKHY ek 2/C Yanıcılık Sınıfı A1 Olan Yapı Malzemeleri tablosuna göre A1 yanıcılık sınıfına sahip alüminyum, çelik, paslanmaz çelik gibi malzemeler çatı kaplama sisteminde kullanılabilir. TS EN 13501-5 standardına göre ilgili malzemeler kullanılmasına rağmen ilgili çatı kaplama sisteminin en fazla $\mathbf{B}_{roof}$ olabileceği yukarıda açıklanmıştır ve atlanmamalıdır. İlgili sistem çalışma prensibi Şekil 8'de verilmiştir.

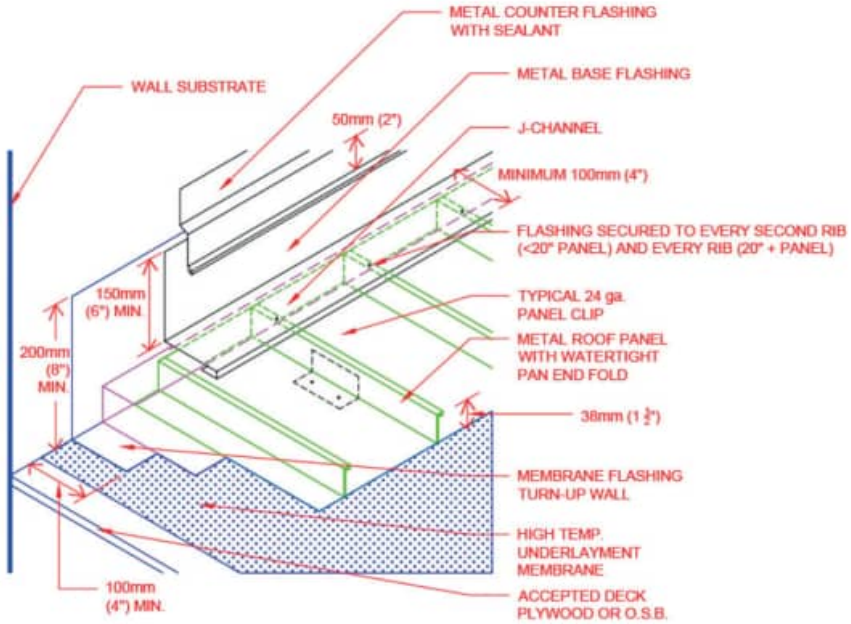


Şekil 8. Kenet çatı sistemi prensip detayı [7]

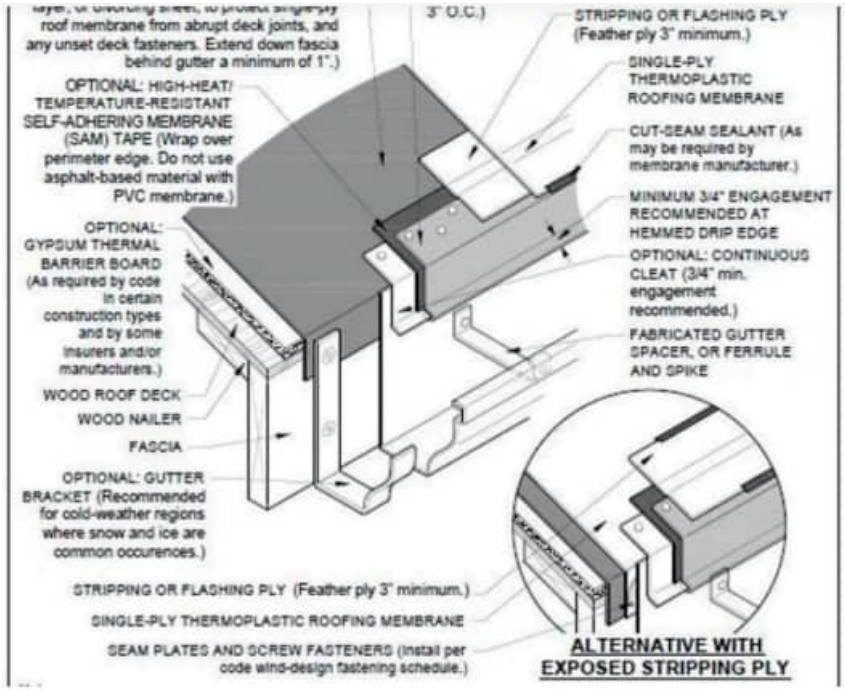
İlgili sistemin doğasından da anlaşılacağı üzere sitemde bağlantı noktaları, montaj ve tasarım çalışmaları, kullanılacak malzeme türü, birleşim noktaları kritik önem arz etmektedir. Kenet çatı sistemi ısıl hareketleri, rüzgar yükleri, bağlantı elemanları performansı ve detay tasarımları yönünden kritik öneme sahip noktalar;

ısıl hareket ve yorulma, rüzgar yükü altında bağlantı hataları, rüzgar yükü ve göçme mekanizması, tasarım parametrelerinin etkileri ve bağlantı tasarımları, yorulma ve rüzgar etkileri biçiminde sıralanabilmektedir [8-9].

Kenet çatı sistemi ısıl hareketleri ısınma nedeniyle bilhassa alüminyum gibi malzemelerin genleşmesine ve bu sebeple bağlantı noktalarının aşınmasına sebebiyet vermektedir. İlgili ısıl hareketlenmeye sistemsel çözümler getirilebiliyor olsa da özellikle şaftların deldiği çatılarda şaft elemanının sabit olması nedeniyle ısıl hareket serbestliği sağlanması oldukça güç bir hale gelmektedir. Sonuç durumda ilgili kritik nokta oldukça titiz bir işçilik ve yardımcı ek elemanlara ihtiyaç duyulması sonucunu ortaya çıkartmaktadır. Uygulayıcı firmalar tarafında bu tip birleşim noktalarında veya su oluğu birleşim detaylarında membran bazlı su yalıtım malzemeleri kullanılması tercih edilebilmektedir. İlgili birleşim detayı şekil 9 ve şekil 10 ile gösterilmektedir [10-11].



Şekil 9. Kenet çatı sistemi çatıyı delen şaft duvarı birleşim detayı [12]



Şekil 10. Kenet çatı sistemi çatıyı delen şaft duvarı birleşim detayı [13]

Şekil 9 ve şekil 10 içerisinde belirtilen detaylarda da görüleceği üzere kenet çatı sistemlerinde her ne kadar en üst katmanda A sınıfı yanmaz malzeme kullanılıyor olsa bile yağmur oluğu ve şaft duvarı birleşim detaylarında su bazlı membran kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada kenet çatı sistemi kullanılması çatı kaplama malzemesinin A sınıfı yanmaz malzeme olmasını tümüyle tesis edememektedir. Su bazlı membran kullanılmadığı durumda çatı birleşim noktalarından zafiyet verebilir ve su geçişine engel olamayabilir. Bu durumda çatının yapılabiliyor ise tamir edilmesi veya tamamen değiştirilmesi sonuçları ortaya çıkabilirdir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, BYKHY madde 28 (2) ve (3) maddeleri incelenerek, BYKHY bağlayıcı diğer maddeleri, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı BYKHY Anlatım Kılavuzu, TÜYAK 2024 BYKHY Uygulama Kılavuzu komisyon görüşü, TS EN 13501-5 ve ENV 1187 standartları ve sektörde söz sahibi olan yangın danışmanları görüşleri doğrultusunda yüksek binalarda çatı kaplama malzemelerinin yanıcılık sınıfının yanmaz malzeme olamayacağı, en fazla $\mathbf{B}_{roof}$ olabileceği ifade edilmiştir. Yanmaz malzeme olarak talep edilmesi durumunda bilhassa hafif strüktüre sahip yapılarda olası seçeneğin kenet çatı sistemi olduğu ve ilgili sistemin belirtilen yaklaşımla tam olarak yanmaz özelliği sağlayamadığı ortaya konmuştur. Can & Yangın Güvenliği temel prensipleri ve sektörel gelişimlere ne denli etki ettiği açıklanmaya çalışılmıştır.

Sonuç durumda ilgili yönetmelik maddesinin yapılan açıklamalar doğrultusunda değiştirilmesi elzem olsa da sektör paydaşlarının konu özelinde yönetmeliğin, sektörün ve ana bilimin koşullarına uygun, uygulanabilir yaklaşımlar sunmasının ne kadar kritik olduğu tekrar gözler önüne serilmiştir. Zira; bilhassa hafif strüktüre sahip olan yapılarda çatı kaplama malzemesi olarak yanmaz malzeme kullanılmasının talep edilmesi durumu; yatırımcıları ve projecileri çaresiz bırakmakta, projelendirme aşamasında dahi kurallara tam riayetin tesis edilemediği gibi bir karamsarlığa düşürebilmektedir. İlgili sonuçlar sektörde oldukça büyük farkındalık sorunlarının oluşmasına sebebiyet verebilecek bir konu olup, tüm dünyada kullanılabilen malzemelerin ülkemizde neden kullanılamadığı sorularını ve yönetmeliğin uygulanamaz kurallar talep ettiği düşüncesiyle farkındalığının azalması sonuçlarını doğurmaktadır. Ülkemizin endüstriyelleşme alanındaki gelişimi gerek küresel gerekse de ülke içindeki can ve yangın güvenliği konularının ehemmiyeti yönünden konu özelindeki yaklaşımın ne kadar önemli olduğu izah edilmiştir.

Kenet çatı sisteminin veya Membran bazlı su yalıtım sisteminin çatının tamamında kullanıldığı, kenet çatı sisteminde membran bazlı su yalıtım sisteminin kullanılmak zorunda olduğu birçok proje ülkemizde de dünya genelinde de mevcuttur. İlgili sistem ve malzemelerden hangisinin seçileceği, ilk maaliyet, sürdürülebilirlik, bakım gerekliliği, montaj ve uygulanabilirlik gibi yaklaşımlarla seçilmektedir. Can ve yangın güvenliği gerekliliklerinin ve yönetmeliklerinin bu seçimin ana konusu olmadığı açıkça ifade edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] https://passerelles.essentiels.bnf.fr/fr/chronologie/construction/5ffdc6d9-2e54-4060-89ec-40531e72f175-villa-savoye/article/8a09dba9-7ab1-4e49-b19d-da130bc62f75-cinq-points-une-architecture-nouvelle?uuid=5ffdc6d9-2e54-4060-89ec-40531e72f175&type=construction
[2] BYKHY, Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik Madde 28 (2) ve (3), 2024
[3] BYKHY, Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik, Ek-2/Ç Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5'e göre Yanıcılık Sınıfları, 2024
[4] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Binaların Yangından Korunması Hakkındada Yönetmelik Klavuzu, 2024
[5] Füsun Önal, Çatı ve Çatı Kaplamalarının Dış Yangın Performanslarının Avrupa Birliği Direktiflerine Göre Sınıflandırılması ve Konunun Türkiye- Avrupa Genelinde İrdelenmesi, Politeknik Dergisi, 13(1), s. 65-70, TS ENV 1187

[6] TÜYAK 2024 BYKHY Uygulama Kılavuzu Madde 28 Komisyon Görüşü, 2024
[7] https://www.akib.org.tr/files/downloads/ekler/kenet_cati_ortusu(10.05.2013).pdf
[8] https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4zPbMdK9/
[9] https://iibec.org/publication-post/standing-seam-metal-roofing/
[10] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221008597
[11] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012423001285
[12] https://arcaonline.ca/roof-wall-flashing/
[13] https://www.buildingenclosureonline.com/articles/87583-roofing-detail-exterior-sheet-metal-gutter

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

Toros AĞABEYOĞLU
1983'te Edremit/Balıkesir'de doğdu. 2001 yılında Edremit Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2008 yılından itibaren yangın danışmanlık sektöründe yer almaktadır. 2019 yılında İstanbul merkezli Ethos Yangın Danışmanlık firmasını kurdu.NFPA ve SFPE üyesi olup aynı zamanda CFPS (Certified Fire Protection Specialist) unvanına sahiptir. Gerek ülke içerisinde gerek yurtdışında birçok nitelikli projede yangın danışmanlığı görevini üstenmiş olup ilgili projelerde can ve yangın güvenliği konularında tesislerin olması gereken noktaya ulaşmasında katkıda bulunmuştur.

Bilal IĞDIR
1994'te İzmir, Konak'ta doğdu. 2012 yılında Samiha Ayverdi Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2018 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık bölümünden "Mimar" unvanını alarak mezun oldu. 2020 yılına kadar proje mimarı olarak özel sektörde çalıştı. 2020 yılında İstanbul'da ETHOS Yangın Danışmanlık şirketinde proje mimarı olarak yangın danışmanlık sektörüne adım attı. NFPA 101: Life Safety Code, Essential Online Training Series (6 months) ve NFPA 101: Life Safety Code, Occupancy Online Training Series (6 months) eğitimlerini tamamlayarak 2022 yılında ETHOS Yangın Danışmanlık şirketinde kıdemli proje mimarı oldu. 2025 yılı itibarı ile Proje Yöneticisi (Mimar) olarak ETHOS Yangın Danışmanlık şirketinde Can ve Yangın güvenliği konularında danışmanlık hizmeti vermeye devam etmektedir.

YAPI MALZEMELERİNİN YANGIN GÜVENLİĞİ DEĞERLENDİRMESİNDE DUMAN TOKSİSİTESİNİN ROLÜ

Mehmet OKAY

ÖZET

Yangınlarda toksik duman ve gazlara maruz kalma, ölüm ve yaralanmaların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Buna karşın yapı malzemelerinin yangın güvenliği değerlendirmeleri çoğunlukla tutuşma, alev yayılımı ve optik duman üretimi gibi yangına tepki parametrelerine dayanmakta; dumanın kimyasal bileşimi ve toksik gaz etkisi mevcut sınıflandırmalarda doğrudan dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada, farklı yangına tepki, duman ve halojen profillerine sahip üç esnek elastomerik köpük yalıtım malzemesine ait deney sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. ISO 5659-2 duman kabininde FTIR yöntemiyle ölçülen gaz konsantrasyonları, EN 17084 kapsamında kullanılan Conventional Index of Toxicity (CIT) yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bulgular, halojensizliğin tek başına yeterli bir yangın güvenliği göstergesi olmadığını, benzer CIT değerlerinin farklı toksik gaz profillerinden kaynaklanabildiğini ve yüksek yangına tepki performansının düşük toksisiteyi garanti etmediğini göstermiştir. Malzeme değerlendirmesinde yangına tepki, optik duman ve toksik gaz oluşumunun risk düzeyine göre birlikte ele alınması önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: Yangın Güvenliği, Duman Toksisitesi, Yaşanabilirlik, EN 13501-1, ISO 5659-2

ROLE OF SMOKE TOXICITY IN THE FIRE SAFETY ASSESSMENT OF BUILDING MATERIALS

ABSTRACT

Exposure to toxic smoke and fire gases is among the leading causes of fire-related deaths and injuries. Nevertheless, fire safety assessments of building materials are mainly based on reaction-to-fire parameters such as ignition, flame spread and optical smoke production, while the chemical composition and toxicity of smoke are not directly considered in current classification systems. This study comparatively examines test results obtained from three flexible elastomeric foam insulation materials with different reaction-to-fire, smoke and halogen profiles. Gas concentrations measured by FTIR in an ISO 5659-2 smoke chamber were evaluated using the Conventional Index of Toxicity (CIT) approach defined in EN 17084. The findings indicate that halogen-free composition alone is not a sufficient indicator of fire safety, similar CIT values may result from different toxic gas profiles, and high reaction-to-fire performance does not necessarily guarantee low toxicity. Therefore, reaction-to-fire performance, optical smoke production and toxic gas generation should be evaluated together according to the risk level and intended location of use.

Keywords: Fire Safety, Smoke Toxicity, Tenability, EN 13501-1, ISO 5659-2

1. GİRİŞ

Yangın güvenliği; malzemelerin tutuşması ve alev yayılımının sınırlandırılmasının yanı sıra ısı açığa çıkışı, duman oluşumu ve toksik yanma ürünlerinin insanlar üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir konudur. Yangın toksisitesi, yangın kaynaklı ölüm ve yaralanmaların başlıca nedenlerinden biri olarak tanımlanmaktadır [1]. İngiltere'de yangın ve kurtarma hizmetlerince kaydedilen olaylara ilişkin resmî verilerde, 2021–2022 dönemindeki yangın kaynaklı ölümlerin %32'sinde ölüm nedeni "gaz veya dumana yenik düşme" olarak belirlenmiş; hastane tedavisi gerektiren kazara konut yangını yaralanmalarının %48'inin de gaz veya duman maruziyetiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir [2]. Bu veriler, yangın güvenliği değerlendirmesinin yalnızca malzemenin yanıcılığı ve alevin yayılmasıyla sınırlandırılamayacağını göstermektedir.

Yangın dumanı, görüş mesafesini azaltan katı ve sıvı partiküller ile çok sayıda gaz fazındaki yanma ürününden oluşmaktadır. Karbon monoksit (CO) ve hidrojen siyanür (HCN) gibi boğucu gazlar dokuların oksijen kullanımını engelleyerek bilinç kaybı ve ölüme neden olabilirken; hidrojen klorür (HCl), hidrojen bromür (HBr), hidrojen florür (HF), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (NO_x) gibi gazlar gözlerde ve solunum yollarında tahrişe, solunum güçlüğüne ve kaçış kabiliyetinin azalmasına yol açabilmektedir [1,3]. Dumanın optik etkileri ile boğucu ve tahriş edici bileşenlerin fizyolojik etkileri, yangın ortamındaki yaşanabilirlik koşullarını birlikte belirlemektedir. Bu nedenle duman toksisitesi yalnızca nihai ölüm riskini değil, kişilerin yangın ortamından bağımsız olarak kaçabilme ve güvenli bir bölgeye ulaşabilme süresini de etkileyen bir yaşam güvenliği parametresidir [3,4].

Buna karşın yapı malzemelerine ilişkin mevcut sınıflandırma sistemleri ağırlıklı olarak yangına tepki performansına odaklanmaktadır. Türkiye'de ve Avrupa'da EN 13501-1 kapsamında kullanılan sınıflandırma; tutuşma, alev yayılımı, ısı açığa çıkışı, duman üretimi ve yanan damlacık veya parçacık oluşumu gibi parametreleri dikkate almakta, ancak dumanın kimyasal bileşimini ve açığa çıkan toksik gazların konsantrasyonlarını doğrudan değerlendirmemektedir [5]. Bu nedenle iyi bir yangına tepki sınıfı, yanma sırasında oluşan dumanın düşük toksik potansiyele sahip olduğunu tek başına göstermemektedir. Avrupa Komisyonu için hazırlanan kapsamlı çalışma da yapı ürünlerinde duman toksisitesinin ayrıca düzenlenmesine ilişkin ihtiyacı, veri sınırlılıklarını ve olası düzenleme yaklaşımlarını tartışmaya açmıştır [6].

Duman toksisitesinin laboratuvar koşullarında incelenmesinde ISO 5659-2 duman kabini ve FTIR gaz analizi yaygın olarak kullanılmaktadır [7,8]. Demiryolu sektöründe EN 45545-2 ve EN 17084 kapsamında ölçülen gazlar Conventional Index of Toxicity (CIT) altında birleştirilirken, IMO FTP Code Part 2 gazları ayrı sınır değerler üzerinden değerlendirmektedir [9,10,11]. ISO 13344 yangın çıktısının öldürücü toksik gücüne, ISO 13571 ise zamanla değişen yangın koşullarının insanların yaşanabilirlik ve kaçış kabiliyeti üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır [12,13]. Bu yöntemler, toksisite değerlendirmesinin ürün karşılaştırmasından insan maruziyetine kadar farklı düzeylerde ele alınabildiğini göstermektedir.

Polimer esaslı yalıtım malzemelerinde gerekli yangına tepki performansının sağlanması amacıyla kullanılan alev geciktirici sistemler, tutuşmayı ve yangının büyümesini sınırlandırırken oluşan gaz profilini de değiştirebilmektedir [14,15]. Özellikle bazı gaz fazı alev geciktiricilerinin CO, HCN, halojen asitleri ve kurum oluşumu üzerinde etkili olabildiği bildirilmektedir [1,15]. Bu nedenle halojen içeriği, alev geciktirici sistemi, duman üretimi ve toksik gaz oluşumu arasındaki ilişkinin tek bir ürün özelliği üzerinden değil, bütünleşik biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada farklı alev geciktirici ve halojen profillerine sahip, sırasıyla E, B-s3,d0 ve B-s1,d0 yangına tepki sınıflarında yer alan üç esnek elastomerik köpük yalıtım malzemesinin gaz oluşum özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. ISO 5659-2 deney düzeneğinde FTIR yöntemiyle elde edilen gaz konsantrasyonları EN 17084'te tanımlanan CIT yaklaşımıyla değerlendirilmiş; sonuçlar malzemelerin yangına tepki ve duman sınıflarıyla birlikte yorumlanmıştır. Çalışmanın amacı belirli ürünler arasında kesin bir performans sıralaması oluşturmak değil, toksisite değerlendirmesinin mevcut yangın güvenliği yaklaşımına sağlayabileceği ilave bilgiyi göstermek ve kullanım alanının risk düzeyine bağlı bütünleşik bir değerlendirme ihtiyacına işaret etmektir.

2. YANGIN GÜVENLİĞİ VE DUMAN TOKSİSİTESİ

2.1. Yangın Dumanı ve Toksik Yanma Ürünleri

Yangın dumanı; gaz fazındaki yanma ürünleri, katı ve sıvı partiküller ile görüş mesafesini azaltan kurumdan oluşan karmaşık bir karışımdır. Dumanın bileşimi yalnızca yanan malzemenin kimyasal yapısına değil; sıcaklık, havalandırma, oksijen miktarı, yangının gelişim aşaması ve hacmin geometrisi gibi koşullara da bağlıdır [3,4,16]. Bu nedenle bir malzemenin toksik gaz profili, değişmez ve tek başına malzemeye ait bir özellik olarak değil, belirli deney veya yangın koşullarında ortaya çıkan bir çıktı olarak değerlendirilmelidir. Avrupa Komisyonu çalışmasında da yanma ürünlerinin yakıt türü ve miktarı, termal sınırlar, havalandırma koşulları ve aktif yangın güvenliği önlemleri gibi çok sayıda değişkenden etkilendiği vurgulanmaktadır [6].

Yangın ortamında karbon monoksit (CO) ve hidrojen siyanür (HCN) başlıca boğucu gazlar arasında yer alırken; hidrojen klorür (HCl), hidrojen bromür (HBr), hidrojen florür (HF), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (NO_x) tahriş edici etkileriyle öne çıkmaktadır [3,4,16]. CO dokulara oksijen taşınmasını azaltırken, HCN hücresel oksijen kullanımını engelleyebilmektedir. Asit gazları ve azot oksitleri ise gözlerde ve solunum yollarında tahrişe, solunum güçlüğüne ve hareket kabiliyetinde azalmaya neden olabilmektedir. Karbon dioksit (CO_2), CO ile aynı toksik mekanizmaya sahip olmamakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda solunumu hızlandırarak diğer yangın gazlarına maruziyeti artırabilmektedir. Dumanın optik etkileriyle bu gazların fizyolojik etkileri birlikte değerlendirildiğinde, yaşanabilirlik koşullarının duman yoğunlığı, gaz konsantrasyonları ve maruziyet süresine bağlı olduğu görülmektedir [3,13].

2.2. Duman ve Toksisite Değerlendirme Yöntemleri

Yangın sırasında oluşan dumanın laboratuvar koşullarında incelenmesinde kullanılan temel yöntemlerden biri ISO 5659-2 standardında tanımlanan tek odalı duman yoğunluğu deneyidir. Bu yöntemle numunenin belirli bir ısıl ışınıma pilot alevli veya pilotsuz koşullarda maruz bırakılması sonucunda oluşan dumanın özgül optik yoğunluğu belirlenmektedir [7]. Aynı deney düzeneğinde oluşan gazların Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisiyle ölçülmesine ilişkin yöntem ISO/TS 19021'de tanımlanmaktadır [8].

Güncel demiryolu uygulamalarında EN 45545-2 kapsamında atıf verilen EN 17084 standardının birinci yöntemi, ISO 5659-2 duman kabininin FTIR gaz analiziyle birlikte kullanılmasına dayanmaktadır [9,11]. Deneyin 4. ve 8. dakikalarında ölçülen CO_2, CO, HF, HCl, HBr, HCN, NO_x ve SO_2 konsantrasyonları ilgili referans konsantrasyonlarına oranlanarak Conventional Index of Toxicity (CIT) altında birleştirilmektedir. Böylece farklı toksik etkilere sahip gazların ortak bir ürün göstergesi üzerinden değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

IMO FTP Code Part 2'de ise gazlar ortak bir indekse dönüştürülmemekte; CO, HCN, HCl, HBr, HF, SO_2 ve NO_x için tanımlanan sınır değerler ayrı ayrı kontrol edilmektedir [10]. ISO 13344 kontrollü bir fiziksel yangın modelinde üretilen yangın çıktısının öldürücü toksik gücünün tahminine yönelikken, ISO 13571 belirli bir yangın senaryosunda zamanla değişen koşulların insan üzerindeki kümülatif etkisini ele almaktadır [12,13]. ISO 13571 kapsamında boğucu gazlar Fractional Effective Dose, tahriş edici gazlar ise Fractional Effective Concentration yaklaşımıyla değerlendirilmektedir.

Bu yöntemler aynı yanma ürünlerinden hareket etmekle birlikte farklı sorulara yanıt vermektedir. ISO 5659-2 ve FTIR ölçümleri standartlaştırılmış deney verileri üretmekte; EN 17084/EN 45545-2 ve IMO FTP Code bu verileri sektörel ürün değerlendirmelerine dönüştürmekte; ISO 13344 ve ISO 13571 ise toksik güç ve insan maruziyeti bakımından daha ileri değerlendirme düzeyleri sunmaktadır. Bu çalışmada farklı gazların ortak bir indeks altında karşılaştırılmasına ve toplam toksisiteyi belirleyen gazların incelenmesine imkân vermesi nedeniyle CIT yaklaşımı esas alınmıştır.

2.3. Alev Geciktiriciler ve Toksik Gaz Oluşumu

Organik polimer esaslı malzemeler yeterli bir ısı kaynağına maruz kaldıklarında bozunarak yanıcı uçucu ürünler oluşturabilmektedir. Bu malzemelerin mevzuatta ve ürün standartlarında öngörülen yangına tepki performansını sağlayabilmesi amacıyla formülasyonlarında farklı alev geciktirici sistemler kullanılmaktadır. Alev geciktiriciler; tutuşmayı geciktirmek, alev yayılımını ve ısı açığa çıkışını sınırlandırmak veya malzemeye kendiliğinden sönme özelliği kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır [14].

Yaygın sistemler arasında klor ve brom içeren bileşenler, bunlarla birlikte kullanılan antimon trioksit gibi sinerjistler, fosfor ve azot esaslı sistemler ile alüminyum hidroksit ve magnezyum hidroksit gibi mineral katkılar bulunmaktadır [6,14]. Boratlar ve genleşebilir grafit de belirli polimer sistemlerinde kullanılabilmektedir. Bu katkılar gaz fazındaki radikal reaksiyonlarını baskılayarak, yoğunlaşmış fazda koruyucu bir tabaka oluşturarak, endotermik ayrışmayla ısı çekerek veya yanıcı bozunma ürünlerini seyrelterek etkili olabilmektedir.

Polimer ve alev geciktirici sistemin kimyasal yapısı, yangın sırasında oluşan gaz profilini doğrudan etkileyebilmektedir. Klor içeren bileşenlerden HCl, brom içeren bileşenlerden HBr ve flor içeren bileşenlerden HF oluşabilmektedir. Azot içeren polimerler veya katkılar HCN ve NO_x oluşumuna, kükürt içeren bileşenler ve vulkanizasyon sistemleri ise SO_2 oluşumuna katkıda bulunabilmektedir. Organik malzemelerin eksik yanması sırasında CO, daha etkin oksidasyonu sırasında ise ağırlıklı olarak CO_2 meydana gelmektedir [1,4,6]. Bununla birlikte belirli bir gazın oluşumu yalnızca alev geciktirici katkıya değil; ana polimer yapısına, diğer formülasyon bileşenlerine ve yanma koşullarına da bağlıdır.

Bazı gaz fazı alev geciktiricileri yanma reaksiyonlarını baskılarken eksik yanma ürünlerinin ve kurumun oluşumunu artırabilmektedir; ancak bu etki bütün sistemlerde aynı değildir [15]. Alev geciktiricilerin tutuşmayı ve yangının büyümesini geciktirerek tahliye için ek süre sağlayabilmesi, buna karşılık malzemenin yangına dâhil olması durumunda belirli toksik yanma ürünlerini artırabilmesi mümkündür [6,15]. Bu nedenle esnek elastomerik köpükler dâhil olmak üzere polimer esaslı yapı malzemeleri yalnızca halojen içeriği veya yangına tepki sınıfı üzerinden değil; yangına tepki, optik duman ve toksik gaz profili birlikte dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İncelenen Malzemeler ve Araştırma Kurgusu

Bu çalışmada, farklı yangına tepki, duman ve halojen profillerine sahip üç esnek elastomerik köpük yalıtım malzemesinden elde edilen deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Ticari ürün isimleri ve formülasyon ayrıntıları çalışma kapsamı dışında tutularak malzemeler M1, M2 ve M3 olarak kodlanmıştır. Malzemelerin karşılaştırmada esas alınan temel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İncelenen malzemelerin temel özellikleri

Malzeme	Yangına tepki sınıfı (EN 13501-1)	Kalınlık	Malzeme ve alev geciktirici profili
M1	E	19mm	Halojensiz elastomerik kauçuk köpüğü
M2	B-s3,d0	19mm	Halojenli alev geciktirici içeren elastomerik kauçuk köpüğü
M3	B-s1,d0	19mm	Halojenli alev geciktirici içermeyen, ancak klor içeren polimer matrise sahip elastomerik köpük

M1, halojen asidi oluşumunun sınırlandırılması bakımından avantajlı olmakla birlikte düşük yangına tepki performansına sahip bir malzemeyi; M2, B ana sınıfında yer almakla birlikte s3 duman alt sınıfına sahip olan ve halojenli alev geciktirici sistem içeren bir malzemeyi; M3 ise B-s1,d0 sınıfına sahip, halojenli alev geciktirici içermeyen ancak klor içeren polimer matrisli bir malzemeyi temsil etmektedir.

Çalışmanın amacı üç malzeme arasında kesin ve genellenebilir bir ürün performans sıralaması oluşturmak değil; halojen içeriği, yangına tepki sınıfı, duman üretimi ve toksik gaz oluşumu birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkan ilişkileri görünür kılmaktır. Bu nedenle inceleme, aynı malzeme grubuna ait farklı performans profillerinin bütünleşik yangın güvenliği açısından karşılaştırmalı olarak okunmasına dayanmaktadır.

3.2. Deney Koşulları ve Ölçülen Parametreler

Duman ve toksik gaz ölçümleri, ISO 5659-2'de tanımlanan tek odalı duman yoğunluğu deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir [7]. Tüm malzemeler 25 kW/m² ısıl ışınım ve pilot alev koşullarında test edilmiş, her malzeme için üç numune kullanılmıştır. Test edilen köpük kalınlıkları 19 mm'dir.

Deney sırasında oluşan yangın gazları FTIR yöntemiyle analiz edilmiş; karbon dioksit (CO_2), karbon monoksit (CO), hidrojen florür (HF), hidrojen klorür (HCl), hidrojen bromür (HBr), hidrojen siyanür (HCN), azot oksitleri (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) konsantrasyonları belirlenmiştir. Gaz konsantrasyonları deneyin 4. ve 8. dakikalarında ölçülmüş ve her malzeme için üç numuneden elde edilen ortalama değerler değerlendirmeye alınmıştır.

Malzemelerin yangına tepki ve duman sınıfları, toksik gaz ölçümlerinden bağımsız performans göstergeleri olarak analize dâhil edilmiştir. Buna göre s1 ve s3 sınıfları dumanın kimyasal toksisitesini değil, ilgili yangına tepki deneylerindeki optik duman üretim davranışını ifade etmektedir. Toksik gaz sonuçları ile duman sınıfları arasında gözlenen ilişkiler bu ayrım dikkate alınarak yorumlanmıştır.

3.3. CIT Hesabı ve Verilerin Değerlendirilmesi

Yanma sırasında oluşan gazların birleşik toksisite değerlendirmesinde EN 17084'ün birinci yönteminde tanımlanan Conventional Index of Toxicity (CIT) yaklaşımı esas alınmıştır [11]. EN 17084 Yöntem 1, ISO 5659-2 duman kabininde oluşan sekiz gaz bileşeninin FTIR yöntemiyle ölçülmesine ve 4. ile 8. dakikalardaki konsantrasyonlarının ortak bir toksisite indeksi altında değerlendirilmesine dayanmaktadır. CIT değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$CIT_G(n) = 0{,}0805 \sum_{i=1}^{8} \frac{c_i(n)}{C_i} \quad (1)$$

Burada $c_i(n)$, i gaz bileşeninin deneyin 4. veya 8. dakikasında ölçülen kütlesel konsantrasyonunu; C_i ise EN 17084'te aynı gaz için tanımlanan referans konsantrasyonunu ifade etmektedir. Bu değerler bağımsız sağlık veya ürün uygunluk sınırları değil, farklı toksik etkilere sahip gazların ortak bir indeks altında normalize edilmesini sağlayan hesaplama parametreleridir. EN 17084 kapsamında CIT hesabında kullanılan gazlar ve referans konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir [11].

Tablo 2. EN 17084 kapsamında CIT hesabında kullanılan referans konsantrasyonları

Gaz Bileşeni	Formül	Referans konsantrasyonu, C_i (mg/m³)
Karbon dioksit	CO_2	72.000
Karbon monoksit	CO	1.380
Hidrojen florür	HF	25
Hidrojen klorür	HCl	75
Hidrojen bromür	HBr	99
Hidrojen siyanür	HCN	55
Azot oksitleri	NO_x	38
Kükürt dioksit	SO_2	262

Referans konsantrasyonlarının önemli ölçüde farklılaşması nedeniyle bir gazın CIT üzerindeki etkisi yalnızca ölçülen miktarıyla belirlenmemektedir. Düşük referans konsantrasyonuna sahip HF, NO_x, HCN ve HCl gibi bileşenler görece düşük miktarlarda ölçülseler dahi toplam indekste belirleyici olabilmektedir. Buna karşılık referans konsantrasyonu yüksek olan CO_2'nin CIT üzerindeki etkisi, yüksek konsantrasyonlarda ölçülmesine rağmen sınırlı kalabilmektedir.

Toplam CIT değerlerini belirleyen gazları açıklamak amacıyla her bileşenin normalize edilmiş c_i/C_i katkısı ayrıca incelenmiştir. Bu katkıların toplam içindeki oranları bağımsız bir sınıflandırma veya yeni bir uygunluk ölçütü olarak değil, benzer CIT değerlerinin arkasında bulunabilecek farklı gaz profillerini açıklayan ikincil bir analiz olarak kullanılmıştır. Değerlendirme; 4. ve 8. dakikalardaki gaz konsantrasyonlarının, toplam CIT değerlerinin ve baskın gaz katkılarının malzemelerin yangına tepki, duman ve halojen profilleriyle birlikte yorumlanması yoluyla yürütülmüştür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Gaz Konsantrasyonları ve CIT Bulguları

İncelenen malzemelerin deneyin 4. ve 8. dakikalarında ölçülen ortalama gaz konsantrasyonları ile bu konsantrasyonlardan elde edilen CIT değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Referans konsantrasyonları ve CIT hesabı kütlesel konsantrasyona dayandığından, karşılaştırmada gaz ölçümleri mg/m³ cinsinden verilmiştir.

Tablo 3. Malzemelerin 4. ve 8. dakikalardaki ortalama gaz konsantrasyonları ve CIT değerleri

Gaz bileşeni	M1–4 dk (mg/m³)	M1–8 dk (mg/m³)	M2–4 dk (mg/m³)	M2–8 dk (mg/m³)	M3–4 dk (mg/m³)	M3–8 dk (mg/m³)
CO_2	5.551	7.855	1.876	4.031	15.240	16.800
CO	275	447	430	498	27	101
HF	-	-	-	-	-	-
HCl	-	-	368	345	74	113
HBr	-	-	-	-	-	-
HCN	33	49	22	35	-	-
NO_x	-	-	-	-	-	-
SO_2	90	92	47	54	16	26
CIT	**0,10**	**0,13**	**0,47**	**0,47**	**0,108**	**0,162**

M1 ve M3'ün CIT değerlerinin aynı büyüklük mertebesinde ve birbirine yakın olduğu görülmektedir. Dördüncü dakikada M1 için 0,10 ve M3 için 0,108 olan değerler, sekizinci dakikada sırasıyla 0,13 ve 0,162'ye yükselmiştir. Buna karşılık M2'nin CIT değeri hem 4. hem de 8. dakikada 0,47 olarak belirlenmiştir. Buna göre M2'nin toplam toksisite indeksi, ölçüm zamanına bağlı olarak M1 ve M3'ün yaklaşık üç ila beş katı düzeyindedir.

Toplam CIT değerlerinin yakın olması, M1 ve M3'ün aynı gaz bileşimine sahip olduğu anlamına gelmemektedir. Halojensiz M1'de HF, HCl ve HBr tespit edilmemiş; HCN, CO ve SO_2 belirgin bileşenler olarak ölçülmüştür. M3'te HCN, HF, HBr ve NO_x tespit sınırının altında kalırken, CO ve SO_2 konsantrasyonları M1'e göre daha düşük bulunmuş; klor içeren polimer matrise bağlı olarak HCl oluşmuştur. Dolayısıyla M1 ve M3 benzer toplam toksisite indekslerine farklı gaz profilleri üzerinden ulaşmıştır.

M2'de HCl konsantrasyonu 4. dakikada 368 mg/m³, 8. dakikada ise 345 mg/m³ olarak ölçülmüştür. HCl konsantrasyonunun ilk ölçüm zamanında yüksek bir seviyeye ulaşması, M2'nin toksisite yükünün deneyin

erken aşamasında oluştuğunu göstermektedir. Sekizinci dakikada HCl konsantrasyonunun sınırlı ölçüde azalmasına karşın CO, CO_2 ve HCN konsantrasyonlarının artması sonucunda toplam CIT değeri 0,47 düzeyinde kalmıştır.

4.2. CIT Değerini Belirleyen Gaz Bileşenlerinin Göreli Etkisi

CIT yaklaşımında bir gazın toplam toksisite üzerindeki etkisi yalnızca ölçülen konsantrasyonuna göre belirlenmemekte; her gazın kütlesel konsantrasyonu EN 17084 kapsamında tanımlanan kendi referans konsantrasyonuna bölünerek normalize edilmektedir [11]. Bu nedenle düşük referans konsantrasyonuna sahip bir gaz görece düşük miktarda ölçülse dahi toplam CIT üzerinde belirleyici olabilmektedir.

Her bir gaz için hesaplanan c_i/C_i katkılarının toplam normalize edilmiş değer içindeki oranları incelendiğinde, üç malzemenin toksisite profillerinin farklı bileşenler tarafından belirlendiği görülmektedir. Söz konusu oranlar yeni bir sınıflandırma veya uygunluk ölçütü olarak değil, hesaplanan CIT değerlerinin hangi gazlardan kaynaklandığını açıklayan ikincil bir analiz olarak kullanılmış ve Tablo 4'te paylaşılmıştır.

Tablo 4. CIT üzerinde belirleyici olan başlıca gaz bileşenleri

Malzeme	4. dakikadaki başlıca katkılar	8. dakikadaki başlıca katkılar
M1	HCN ≈ %49; SO_2 ≈ %28; CO ≈ %16	HCN ≈ %53; SO_2 ≈ %21; CO ≈ %19
M2	HCl ≈ %84; HCN ≈ %7; CO ≈ %5	HCl ≈ %79; HCN ≈ %11; CO ≈ %6
M3	HCl ≈ %74; CO_2 ≈ %16; SO_2 ≈ %5	HCl ≈ %75; CO_2 ≈ %12; SO_2 ≈ %5

M1'de toplam CIT değerinin yaklaşık yarısı HCN'den kaynaklanmıştır. HCN için tanımlanan referans konsantrasyonunun 55 mg/m³ olması nedeniyle, 4. dakikada ölçülen 33 mg/m³ ve 8. dakikada ölçülen 49 mg/m³ konsantrasyonları toplam indekste önemli bir ağırlık oluşturmuştur. SO_2 ve CO da CIT'ye belirgin katkı sağlamıştır. Buna karşılık CO_2 konsantrasyonu sayısal olarak daha yüksek olmasına rağmen 72.000 mg/m³ olan yüksek referans konsantrasyonu nedeniyle toplam CIT içindeki payı yaklaşık %6–7 düzeyinde kalmıştır.

Bu sonuç, halojensiz bir malzemede HF, HCl ve HBr gibi halojen asitlerinin oluşmamasının olumlu bir özellik olduğunu, ancak toksik gaz oluşumunu bütünüyle ortadan kaldırmadığını göstermektedir. Halojensiz M1'in toksisite profili esas olarak HCN, SO_2 ve CO tarafından belirlenmiştir.

M2'de toplam CIT'nin yaklaşık %80'i HCl'den kaynaklanmıştır. HCl için tanımlanan referans konsantrasyonu 75 mg/m³ iken deneyde 345–368 mg/m³ düzeyinde HCl ölçülmüştür. Bu değerler bağımsız bir uygunluk sınırı aşımı olarak değil, HCl'nin CIT hesabındaki normalize edilmiş katkısının yüksek olduğunu gösteren sonuçlar olarak değerlendirilmelidir. M2'nin diğer bazı gaz konsantrasyonları M1'den daha düşük olmasına rağmen HCl'nin yüksek katkısı toplam CIT değerini belirgin biçimde artırmıştır.

İncelenen malzeme özelinde bu bulgu, halojenli alev geciktirici sistemle ilişkili HCl oluşumunun toksisite profilinin temel belirleyicisi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte sonuç bütün halojenli alev geciktirici sistemlere genellenmemelidir; ortaya çıkan gaz profili polimer yapısına, kullanılan katkılara ve yanma koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir.

M3'te de toplam CIT üzerinde belirleyici bileşen HCl'dir. Bununla birlikte M3'teki HCl konsantrasyonu M2'ye göre 4. dakikada yaklaşık beş kat, 8. dakikada ise yaklaşık üç kat daha düşüktür. Böylece M3, klor içeren bir polimer matrise sahip olmasına rağmen M1'e yakın toplam CIT değerleri göstermiştir. Bu durum yalnızca malzemenin halojen içerip içermemesine bakılarak toksisite performansı hakkında kesin bir sonuca ulaşılamayacağını göstermektedir.

HF ve HBr düşük referans konsantrasyonları nedeniyle CIT üzerinde güçlü etki oluşturabilecek bileşenlerdir. Bununla birlikte bu gazlar incelenen numunelerde tespit edilmemiş veya tespit sınırının altında kalmıştır.

Bu nedenle HF ve HBr üç malzemenin CIT değerlerinde belirleyici olmamıştır; flor veya brom içeren farklı malzeme sistemlerinde ise katkıları önemli ölçüde değişebilir.

4.3. CO–CO_2 İlişkisi, Optik Duman ve Toksisite

Karbon içeren polimerlerin termal bozunması ve yanması sırasında CO ve CO_2 oluşumu; oksijen düzeyi, sıcaklık, yanma verimi, polimer yapısı ve alev geciktirici sistem gibi birçok değişkene bağlıdır. Karbonlu bileşenlerin daha ileri düzeyde oksitlenmesi CO_2 oluşumuna yol açarken, eksik yanma koşullarında CO oluşumu artmaktadır [3,4,6].

M3'te CO_2 konsantrasyonlarının diğer iki malzemeye göre oldukça yüksek, CO konsantrasyonlarının ise düşük olduğu görülmektedir. Dördüncü dakikada M3'te 15.240 mg/m³ CO_2'ye karşılık 27 mg/m³ CO belirlenmiştir. Aynı ölçüm zamanında M2'de 1.876 mg/m³ CO_2 ve 430 mg/m³ CO ölçülmüştür. Bu dağılım, M3'te karbonlu bozunma ürünlerinin daha büyük bölümünün CO_2'ye kadar oksitlenmiş olabileceğine, M2'de ise eksik yanma ürünlerinin daha belirgin olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte mevcut gaz verileri ayrıntılı yanma mekanizmasını tek başına kanıtlamadığından bu yorum olası bir açıklama olarak değerlendirilmelidir.

CO ve CO_2 arasındaki ayrım toksisite bakımından önem taşımaktadır. CIT hesabında CO için kullanılan referans konsantrasyonu 1.380 mg/m³, CO_2 için kullanılan referans konsantrasyonu ise 72.000 mg/m³'tür. Buna göre eşit kütlesel konsantrasyonlarda CO'nun normalize edilmiş CIT katkısı CO_2'ninkinden yaklaşık 52 kat daha yüksektir. Bu nedenle M3'teki yüksek CO_2 konsantrasyonu toplam CIT değerinde sınırlı bir etki oluştururken, M1 ve M2'de daha düşük konsantrasyonlarda ölçülen CO toplam indekse daha güçlü katkı sağlamıştır. CO hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesini azaltan güçlü bir boğucu gazdır; CO_2 ise aynı mekanizmaya sahip olmamakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda solunumu hızlandırarak diğer yangın gazlarına maruziyeti ağırlaştırabilmektedir [3,4].

M3'ün B-s1,d0 sınıfında olmasına rağmen yüksek CO_2 üretmesi bir çelişki oluşturmamaktadır. EN 13501-1 kapsamındaki s sınıfları CO_2 gibi renksiz gazların konsantrasyonunu değil, ışık geçirgenliğini azaltan optik duman üretimini değerlendirmektedir [5]. Bu nedenle yüksek CO_2 konsantrasyonu ile düşük optik duman üretiminin aynı malzemede birlikte görülmesi mümkündür.

M2'nin B-s3,d0, M3'ün ise B-s1,d0 sınıfında olması ve M2'nin daha yüksek CIT göstermesi, incelenen iki B sınıfı malzeme özelinde daha düşük optik duman performansı ile daha yüksek toksisite indeksinin birlikte ortaya çıktığını göstermektedir. Ancak duman sınıfı, dumanın kimyasal bileşimini veya toksik gaz konsantrasyonlarını ölçmediğinden bu sonuç duman sınıfı ile toksisite arasında genel ve doğrudan bir nedensellik bulunduğu biçiminde yorumlanmamalıdır. Malzemelerin polimer yapıları ve alev geciktirici sistemleri de farklı olduğundan gözlenen ilişki incelenen örneklerle sınırlıdır.

4.4. Yangına Tepki, Halojen Profili ve Bütünleşik Yangın Güvenliği

M1'in halojensiz olması ve M3 ile yakın CIT değerleri göstermesi, halojen asitlerinin sınırlandırılması bakımından olumlu bir sonuçtur. Bununla birlikte M1'in E sınıfında olması, daha yüksek bir yangına tepki sınıfının öngörüldüğü kullanım alanlarında gerekli asgari performansı sağlayamayacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle düşük CIT değeri, kullanım alanı için gerekli yangına tepki performansının sağlanmamasını telafi eden bir özellik olarak değerlendirilmemelidir.

M3, halojenli alev geciktirici içermemekle birlikte klor içeren bir polimer matrise sahiptir. M3'ün B-s1,d0 sınıfıyla birlikte M1'e yakın ve M2'ye göre daha düşük CIT değerleri göstermesi, halojen içeriğinin tek başına toplam toksisite performansını belirlemediğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık M2'nin B yangına tepki sınıfına rağmen, s3 duman alt sınıfında yer alması ve HCl ağırlıklı daha yüksek CIT profili göstermesi, yangına tepki ana sınıfının da tek başına yeterli bir güvenlik göstergesi olmadığını göstermektedir.

Benzer şekilde optik duman üretimi ile kimyasal toksisite birbirinden farklı performans alanlarıdır. İncelenen iki B sınıfı malzemede s1 duman alt sınıfıyla daha düşük CIT değerinin birlikte görülmesi dikkat çekici olmakla birlikte, bu bulgu tek başına genel bir sebep-sonuç ilişkisi kurmaya yeterli değildir. Bununla birlikte düşük optik duman üretimi görüş mesafesi ve tahliye koşulları bakımından, düşük toksisite potansiyeli ise kimyasal maruziyet bakımından birbirini tamamlayan avantajlar sağlamaktadır.

Sonuçlar, yapı malzemelerinin yalnızca halojen içeriği, ana yangına tepki sınıfı veya duman alt sınıfından biri esas alınarak değerlendirilmesinin bütünleşik yangın güvenliğini açıklamak için yeterli olmadığını göstermektedir. İncelenen malzeme grubu kapsamında dengeli performansın aşağıdaki üç bileşenin birlikte ele alınmasına bağlı olduğu görülmüştür:

Gerekli yangına tepki performansı + Düşük optik duman üretimi + Düşük toksisite potansiyeli

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Temel Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Halojensizlik tek başına yeterli bir yangın güvenliği göstergesi değildir. Halojensiz bir malzeme, halojen asitlerinin oluşumunu sınırlandırabilmekle birlikte CO, HCN ve SO_2 gibi farklı toksik yanma ürünleri oluşturabilmektedir.
- Kullanım alanı için gerekli asgari yangına tepki performansı temel bir ön koşuldur. Düşük CIT değeri, ilgili kullanım alanında öngörülen yangına tepki sınıfının sağlanmamasını telafi etmemektedir.
- Yüksek bir yangına tepki ana sınıfı düşük duman üretimini veya düşük toksisite potansiyelini garanti etmemektedir. Aynı ana sınıf içinde farklı duman ve toksisite profilleri ortaya çıkabilmektedir.
- Benzer CIT değerleri farklı gaz bileşimlerinden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle toplam indeks, değeri oluşturan başlıca gaz bileşenleriyle birlikte yorumlanmalıdır.
- Optik duman üretimi ile toksisite birbirinden farklı, ancak birbirini tamamlayan performans alanlarıdır. Düşük duman üretimi doğrudan düşük toksisite anlamına gelmemekle birlikte tahliye güvenliği açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır

Bu bulgular doğrultusunda bütünleşik yangın güvenliği yaklaşımının gerekli yangına tepki performansı, düşük optik duman üretimi ve düşük toksisite potansiyelinin birlikte değerlendirilmesine dayanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

5.2. Mevzuat ve Malzeme Değerlendirmesine Yönelik Öneriler

- Yapı malzemelerinin değerlendirilmesinde toksisite, mevcut yangına tepki ve duman sınıflandırmalarını tamamlayan ayrı bir performans göstergesi olarak ele alınmalıdır.
- Toksisite gereklilikleri bütün yapılar ve malzemeler için tek tip olarak belirlenmemeli; kullanıcıların tahliye kabiliyeti, tahliye süresi, yapı yüksekliği, yer altı kullanımı, duman yayılım potansiyeli ve malzemenin yapı içerisindeki konumu dikkate alınarak risk temelli biçimde farklılaştırılmalıdır.

- EN 45545 kapsamında kullanılan tehlike seviyeleri ve kullanım yerine bağlı gereklilik setleri bina uygulamalarına doğrudan aktarılmamalı; ancak risk temelli bir yapı malzemesi değerlendirme sisteminin geliştirilmesinde kavramsal bir örnek olarak ele alınabilir [9].
- "Halojensiz", "düşük dumanlı" veya "yüksek yangına tepki sınıfına sahip" gibi tekil ürün özellikleri, bütünleşik yangın güvenliğinin tek başına göstergesi olarak kullanılmamalıdır. Malzeme değerlendirmesinde öncelikle ilgili kullanım alanı için gerekli asgari yangına tepki performansı sağlanmalı; ardından optik duman üretimi ve toksik gaz profili birlikte değerlendirilmelidir.

Bu çalışma üç esnek elastomerik köpük malzemeden elde edilen verilerle sınırlıdır ve doğrudan yeni bir sınır değer veya mevzuat sistemi önermemektedir. Bulgular, toksisite değerlendirmesinin sağlayabileceği ilave bilgiyi göstermek ve bu konudaki araştırma ihtiyacına işaret etmek amacıyla sunulmuştur. Gelecek çalışmalarda yaklaşımın farklı yalıtım ürünleri, kablolar, kaplama malzemeleri, döşemeler, mobilyalar ve diğer yapı malzemesi grupları üzerinden genişletilmesi; farklı yangın koşullarında oluşan gaz profilleri ile optik duman performansının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu tür genişletilmiş çalışmaların, yapı malzemelerinin yalnızca alev yayılımı ve duman üretimi bakımından değil, yangın sırasında oluşturdukları kimyasal maruziyet bakımından da değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Böylece malzeme değerlendirmesinde daha bütünleşik, kullanım yerine duyarlı ve insan yaşamını merkeze alan bir yangın güvenliği yaklaşımının geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

6. KAYNAKLAR

[1] Stec, A. A. (2017). Fire toxicity—The elephant in the room? Fire Safety Journal, 91, 79–90. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.003.

[2] Home Office. (2022). Detailed analysis of fires attended by fire and rescue services, England, April 2021 to March 2022. London: UK Government.

[3] Purser, D. A., & McAllister, J. L. (2016). Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases, and heat. In M. J. Hurley et al. (Eds.), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (5th ed., pp. 2308–2428). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_63

[4] Stec, A. A., & Hull, T. R. (Eds.). (2010). Fire Toxicity. Cambridge: Woodhead Publishing

[5] European Committee for Standardization. (2018). EN 13501-1:2018, Fire classification of construction products and building elements—Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. Brussels: CEN.

[6] Yates, T. (2017). Study to Evaluate the Need to Regulate within the Framework of Regulation (EU) No 305/2011 on the Toxicity of Smoke Produced by Construction Products in Fires: Final Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2873/998072.

[7] International Organization for Standardization. (2017). ISO 5659-2:2017, Plastics—Smoke generation—Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test. Geneva: ISO.

[8] International Organization for Standardization. (2018). ISO/TS 19021:2018, Test method for determination of gas concentrations in ISO 5659-2 using Fourier transform infrared spectroscopy. Geneva: ISO.

[9] European Committee for Standardization. (2023). EN 45545-2:2020+A1:2023, Railway applications—Fire protection on railway vehicles—Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components. Brussels: CEN.

[10] International Maritime Organization. (2010). International Code for Application of Fire Test Procedu-

res, 2010 (2010 FTP Code), Annex 1, Part 2: Smoke and toxicity test. Resolution MSC.307(88). London: IMO

[11] European Committee for Standardization. (2020). EN 17084:2018+AC:2020, Railway applications—Fire protection on railway vehicles—Toxicity test of materials and components. Brussels: CEN.

[12] International Organization for Standardization. (2015). ISO 13344:2015, Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents. Geneva: ISO.

[13] International Organization for Standardization. (2012). ISO 13571:2012, Life-threatening components of fire—Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires. Geneva: ISO.

[14] Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J.-M., & Dubois, P. (2009). New prospects in flame-retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. Materials Science and Engineering: R: Reports, 63(3), 100–125. https://doi.org/10.1016/j.mser.2008.09.002.

[15] Molyneux, S., Stec, A. A., & Hull, T. R. (2014). The effect of gas phase flame retardants on fire effluent toxicity. Polymer Degradation and Stability, 106, 36–46. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.013

[16] International Organization for Standardization. (2011). ISO 19706:2011, Guidelines for assessing the fire threat to people. Geneva: ISO

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Mehmet OKAY

1992’de İstanbul’da doğdu. 2010 yılında Maltepe Kadir Has Anadolu Lisesi’nden, 2016 yılında İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2022 yılında YTÜ Yapı Fiziği Yüksek Lisans Programı’nı tamamladı. Mesleki kariyeri boyunca sektörün önde gelen yerel ve uluslararası kuruluşlarında görev alan Mehmet Okay; yangın güvenliği, sismik koruma, titreşim yalıtımı, işitsel konfor ve enerji verimliliği alanlarında teknik çalışmalar yürütmüştür. Yapı fiziği alanındaki mesleki çalışmalarının yanı sıra çeşitli teknik yayınları ve sektörel katkıları bulunmaktadır.

BİYOMALZEME TABANLI YAPI ÜRÜNLERİ ve YANGIN

Ezgi KORKMAZ
Seda SERBEST YENİDÜNYA
Hande APAK
Büşra DEMİRCAN İBİŞ
Z. Gülşah KOÇ
Raşit Eren CANGÜR
Gökçe TUNA
Nabi YÜZER
Cem Bülent ÜSTÜNDAĞ
Muhammed MARAŞLI

ÖZET

Bitki, hayvan, tarımsal yan ürünler ve biyolojik atıklar ile yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri; yapı endüstrisinin neden olduğu aşırı kaynak tüketimi, fosil yakıt kullanımı ve atık oluşumu gibi ekolojik sorunlara karşı alternatif bir çözüm olarak sunulmaktadır. Düşük karbon ayak izine sahip olması, üretiminde çevresel ve yenilenebilir kaynakların kullanılması ve atıkların en aza indirilmesi ile döngüsel ekonomiye katkı sağlaması nedeniyle yapıda duvar, döşeme, çatı vb gibi yapı elemanlarında blok, kaplama ve yalıtım ürünleri olarak kullanılmakta ve birçok yeni ürün araştırma-geliştirme çalışmasına da konu olmaktadır.

Yapılan araştırmalarda biyomalzemelerin olumlu özelliklerinin yanı sıra doğaları gereği yanıcı olmaları nedeniyle yangın güvenliği açısından önemli riskler görülmüştür. Ahşap, biyopolimerler ve bitki bazlı yalıtım ürünleri yanıcıdır, biyo-agregalar genellikle daha düşük yangın güvenliği sınıflarına girerken, beton bazlı malzemeler daha yüksek yanıcılık sınıflarına ulaşmaktadır. Ayrıca bu malzemeler yangın sırasında, toksik gazlar yayabilir ve bu da insan sağlığı ve çevre için risk oluşturabilir. Bu riskleri yönetebilmek amacıyla da biyokömür entegrasyonu, alev geciktiriciler ve koruyucu katmanlaşma gibi uygulamalar geliştirilmektedir. Ancak biyomalzemelerin yangın güvenliği ile ilgili düzenli bilgiye erişimin zorluğu ve yangın yönetmeliklerine uyumsuzluğu bu malzemelerin ticarileşmesi önündeki engellerden biridir.

Çalışmada, öncelikle biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri tanımlanarak bu ürünlerin yangın ile ilişkisi açıklanacak, yanması durumunda oluşan riskler ve yönetimine ilişkin yöntemler irdelenerek yönetmeliklere entegrasyonu ile ilgili öneriler sunulacaktır. Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBG-2025-6702 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Anahtar sözcükler: Biyomalzeme, biyomalzeme tabanlı yapı ürünü, biyomalzemenin yanıcılığı, yönetmelik

BIOMATERIAL-BASED CONSTRUCTION PRODUCTS AND FIRE

ABSTRACT

Biomaterial-based construction products derived from plants, animals, agricultural byproducts, biological waste, and renewable biological resources are presented as an alternative solution to ecological issues such as excessive resource consumption, fossil fuel use, and waste generation caused by the construction industry. Due to their low carbon footprint, the use of environmental and renewable resources in their production, and their contribution to the circular economy by minimizing waste, these materials are used

in building elements such as walls, floors, and roofs as blocks, cladding, and insulation products, and are also the subject of numerous new product research and development studies.

Research has shown that, while biomaterials possess positive properties, they also pose significant fire safety risks due to their inherently flammable nature. Wood, biopolymers, and plant-based insulation products are flammable, bio-aggregates generally fall into lower fire safety classes, while concrete-based materials reach higher flammability classes. Additionally, these materials can release toxic gases during a fire, which may pose risks to human health and the environment. To manage these risks, applications such as biochar integration, flame retardants, and protective layering are being developed. However, the difficulty in accessing reliable information on the fire safety of biomaterials and their non-compliance with fire safety regulations are among the barriers to the commercialization of these materials.

The aim of this study is to define biomaterial-based construction products, explain their relationship with fire, examine the risks associated with their combustion and the methods for managing these risks, and present recommendations for their integration into regulations. This work has been supported by Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number FBG-2025-6702.

Key words: Biomaterial, biomaterial-based building product, flammability of biomaterials, regulations

1. GİRİŞ

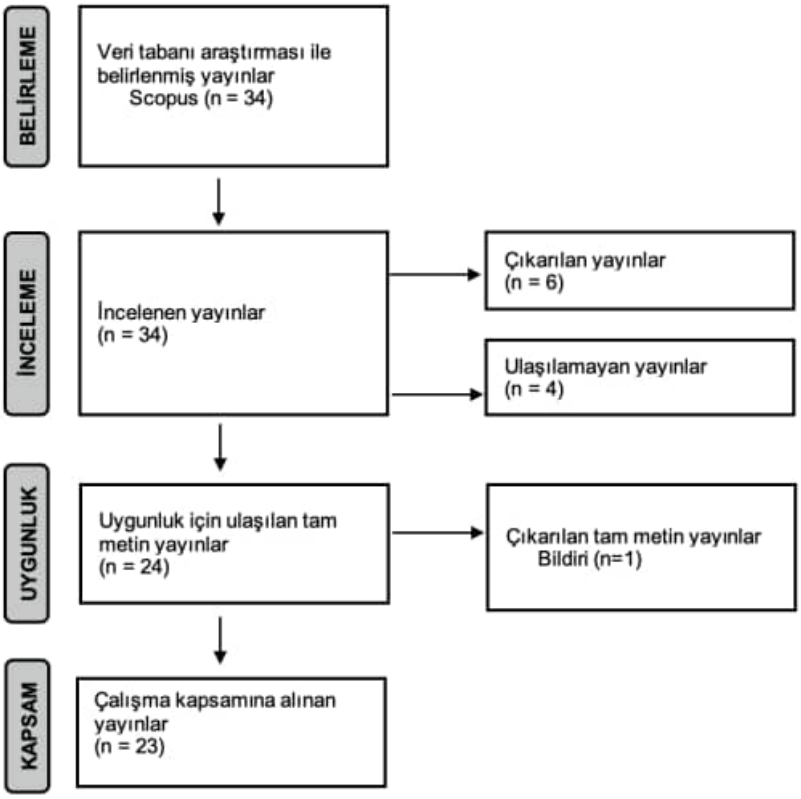
İnşaat sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının %37›sinden sorumludur. Geleneksel olarak kullanılan beton, çelik ve petrokimya türevi yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, poliüretan vb.) yüksek karbon ayak izine, enerji yoğun üretim süreçlerine ve çevresel toksisiteye sahiptir [1]. Sektörde gerçekleştirilen iyileştirmeler küresel karbon emisyonlarının azaltılması ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, geleneksel sentetik ve yüksek gömülü enerjiye sahip malzemelerin yerine ahşap ve biyokütle bazlı kompozitler [2], tarımsal atıklar [3] ve mantar miselyumu [4, 5] gibi biyobazlı yapı ürünlerinin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak biyobazlı malzemelerin bünyesinde barındırdığı selüloz, hemiselüloz, lignin ve protein tabanlı organik bileşenler, bu ürünlerin yangın karşısında yüksek yanıcılık sergilemesine, hızlı alev yayılımına, aşırı duman/toksik gaz salımına ve yapısal bütünlük kaybına yol açmaktadır [6]. Biyomalzemelerin sunduğu ekolojik ve ısıl olanaklar ile yangın güvenliği gereksinimleri arasındaki bu çelişki, söz konusu ürünlerin yapı sektöründe geniş ölçekli ve ticari kullanımının önünde engel oluşturmaktadır [3]. Birçok biyomalzemenin ise laboratuvar çalışmalarının yapılmamış veya yetersiz olması nedeniyle yangın karşısındaki davranışı ile ilgili bilgilerin bulunmaması da malzemenin benimsenmesi ve ticarileşmesi yönünde olumsuz bir durum olarak görülmektedir.

Çalışmanın amacı, literatürde geliştirilen farklı biyomalzeme tabanlı yapı ürünlerinin yangın performansını, doğal olumsuzluklarını ve bu olumsuzlukları gidermek için uygulanan iyileştirici stratejileri sistematik bir yaklaşımla sentezlemektir. Çalışma, biyomalzemelerin yangın direncini artırmada kullanılan kimyasal, biyolojik ve yapısal yöntemlerin etkinliğini ve uluslararası standartlar karşısındaki geçerliliğini incelemeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda çalışma kapsamı, biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri ve yangın performansı odağında yürütülen nitelikli uluslararası akademik yayınlarla sınırlandırılmıştır.

Çalışmada öncelikle belirlenen hedef ve kapsam doğrultusunda yapılan sistematik literatür taramasının kurgusu prisma yöntemi ile açıklanacak, biyomalzeme tabanlı yapı ürünlerinin tanımlanması, sınıflandırılması ve bu ürünlerin yangın ile ilişkisine yönelik literatür araştırmasından veriler sunulacak, prisma yöntemi kapsamında seçilen makalelerden ürünlerin yanması durumunda oluşan riskler ve yönetimine ilişkin yöntemler bağlamında elde edilen bulgular irdelenecek, ilgili sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

2. YÖNTEM

Biyomalzeme tabanlı yapı malzemelerinin yangın performansını bütüncül bir şekilde incelemek amacıyla sistematik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, Scopus veri tabanında "biomaterial" AND "fire" AND "construction" OR "building" anahtar kelimeleri ile yapılan arama "malzeme bilimi, mühendislik, çevre bilimi, çok disiplinli, sanat ve beşerî bilimler" konu alanları ile sınırlandırılmıştır. Tarama sonucunda 34 makale belirlenmiştir. Tam metnine ulaşılamayan dört adet makale kapsam dışı bırakılmıştır. Sonrasında, makalelerin tam metinleri incelenerek biyomalzeme ve yangın konusunu ele almayan makaleler elenmiştir. Eleme sonucunda 23 makale çalışma kapsamında analiz edilmiştir. Çalışmada uygulanan PRISMA akışı Şekil 1'de görülmektedir. Makalelerin analizinde hangi biyomalzemenin ele alındığı, yangın konusunda gerçekleştirilen analizler, değerlendirilen biyomalzemenin olumlu olumsuz özellikleri, yönetmelikler ile ilgili bilgi içermesi konuları değerlendirilmiştir.



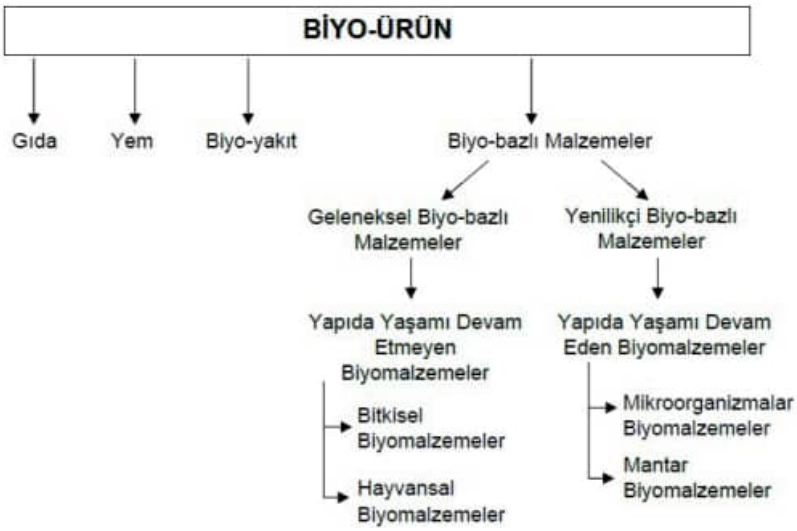
Şekil 1. PRISMA akış şeması

3. BİYOMALZEME TABANLI YAPI ÜRÜNLERİ ve YANGIN İLİŞKİSİ

Çalışma kapsamında yapılan ayrıntılı literatür araştırması sonucunda bu bölümde; biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri ve yangın ilişkisi açıklanmıştır.

3.1. Biyomalzeme Tabanlı Yapı Ürünleri

Biyo-ürün; gıda, yem, biyo-yakıt ve biyo-bazlı malzemeler gibi biyolojik kaynaklardan elde edilen ürünlerdir. Biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri; biyo-bazlı malzemeler grubu altında yer almaktadır. Biyo-bazlı malzemeler, Geleneksel ve Yenilikçi olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 2) [7].



Şekil 2. Biyo-ürünlerin sınıflandırılması

Geleneksel biyo-bazlı malzemeler, hayvan ve bitkilerden (keten, kenevir, bambu vb.) elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen ve geri dönüştürülebilen malzemelerdir. Bu malzemeler, yapı elemanının hammaddesi olarak kullanılabilmekle birlikte yapıda yaşamı devam etmeyen malzemelerdir. Yenilikçi biyo-bazlı malzemeler ise alg, bakteri ve mantarlar gibi organizmaları içermektedir. Bu malzemeler, bir yapının çevresiyle etkileşime girmesine ve çevresel koşullara uyum sağlamasına (ısı yalıtımı, hava temizleme, kendi kendini onarma vb.) olanak sağlayan organizmalardan elde edilen veya mühendislik ürünü bileşenler içerebilen ve yapıda yaşamı devam eden malzemelerdir [7]. Biyomalzemeler ve kullanıldıkları yapı ürünleri Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri [8]

Biyomalzeme			Kullanıldığı yapı ürünü
Geleneksel	Bitkisel	Ahşap	Döşeme, çatı ve taşıyıcı sistem ürünleri, cephe paneli
		Kenevir	Tuğla, kompozit malzeme, yalıtım ve cephe paneli, duvar, döşeme ve çatı sistemi ürünleri
		Saman	Çatı sistemi ürünleri yalıtım paneli, kompozit malzeme, taşıyıcı duvar, kil ve kire. Sıvası için biyo-agrega
		Kamış	Çatı sistemi ürünleri
		Bambu	Kompozit malzeme, duvar, çatı ve taşıyıcı sistem ürünleri, pencere ve kapı
		Linolyum	Döşeme ve duvar kaplaması
		Mantar (cork)	Döşeme, duvar ve tavan kaplaması, yalıtım paneli, beton katkı maddesi
		Biyoplastik	Çit, korkuluk, duvar, pencere ve kapı, kaplama ve yalıtım paneli
		Selüloz	Duvar paneli, çimento kompozit, sıva, yalıtım paneli, biyopolimer
	Hayvansal	Yün	Yalıtım paneli
		Kitin	Katkı maddesi
		İpek	Biyomedikal dışında kompozit malzeme olarak çok sınırlı düzeyde bilimsel araştırma bulunmakta
Yenilikçi	Alg		Çimento, tuğla, aydınlatma aracı, fotobiyoreaktör
	Bakteri		Beton, tuğla, aydınlatma aracı, cephe paneli
	Mantar		Beton, tuğla, biyokompozit malzeme, ısı ve ses yalıtımı paneli, çevresel sensör

3.2. Biyomalzeme Tabanlı Yapı Ürünleri ve Yangın

Biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çok azı biyomalzemelerin yangın ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Biyomalzeme tabanlı yapı ürünleri ve yangın arasındaki ilişkiyi inceleyen az sayıdaki çalışmaların ise 2013-2026 yılları arasında yoğunlaştığı görülmektedir. İncelenen kaynaklarda genel olarak, farklı biyomalzemelerin yangın performansı ve yanma karakteristiklerine odaklanan bilgiler ele alınmıştır.

Buksans ve ark. (2013-2015), oluklu tahtaların çapraz lamine edilmesiyle üretilen yenilikçi hücresel ahşap malzemelerin ve CLT panellerin EN 13823 ve ISO 5660-1 standartlarını kullanarak yangın tepki performansını ve bu performansın iyileştirilme yollarını incelemişlerdir. Çalışmada, malzemenin hücresel yapısı sayesinde derin emprenye işlemine çok uygun olduğu, uygun alev geciktirici emprenye yöntemleriyle bu performansın iyileştirilebileceği saptanmış, ancak alev geciktiricilerin yapıştırma gibi üretim aşamalarına olumsuz etkileri bulunduğunu belirtmişler ve gelecekte bu teknolojik süreçlerin araştırılmasını önermişlerdir. Bununla birlikte hücresel ahşap malzemenin boşluklu yapısından dolayı oksijen beslemesinin fazla olduğu, bu durumun da masif ahşap malzemelere kıyasla yangın performansını çok daha olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Hücresel ahşap malzemenin yangın güvenliğini artırabilmek için malzemenin farklı kaplama (yüzey) malzemeleriyle örtülerek hücrelere oksijen akışının engellenmesi gerektiği sonuç olarak sunulmuştur [9].

Stanwix ve Sparrow (2014), kenevir betonu malzemesinin tasarım ve inşaat prensiplerini yapısal nitelikler çerçevesinde ele almışlardır. Kenevir betonunun mevcut veriler ışığında 60 dakikalık yangın direnci gereksinimlerini karşıladığı ve teknik özellik değişimleriyle bu sürenin 90 veya 120 dakikaya çıkarılabileceği sonucuna varılmıştır. Farklı bağlayıcı türlerinin ve sıva kaplamalarının yangın direnci üzerindeki spesifik etkilerinin henüz tam olarak ele alınmadığı belirtilerek; karışım oranlarının yangın davranışı üzerindeki etkilerine dair daha fazla araştırma yapılması önerilmiştir [11].

Khatua ve arkadaşları (2017) çalışmalarında, hayvansal tutkal içeren modifiye edilmiş melamin formaldehit reçinesinin kontrplaklardaki performansını incelemişlerdir. Çalışmada yapılan testlerde, hayvansal proteinlerin yanma sırasında açığa çıkardığı azot gazlarının intümesan bir koruyucu tabaka oluşturarak alev nüfuziyet süresini ve yanma hızını iyileştirdiği saptanmıştır [12].

Winandy ve Morrell (2017), ahşap esaslı yapısal panellerin yangın geciktirici (FR) kimyasallarla etkileşimini inceleyen çalışmaları derlemişlerdir. İnceleme sonucunda, FR kimyasallarının malzemenin fiziksel özelliklerini belirgin şekilde etkilediği ve üretim sürecindeki ısıl bozulmaların uzun vadeli dayanıklılık üzerindeki etkilerinin kritik olduğu belirtilmiştir [2].

Chukwunwike ve arkadaşları (2019), doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin yanıcılığı ve alev geciktiriciliğine ilişkin eğilim stratejilerini araştırmışlardır. Lif yüzey işlemleri ile metal hidroksitlerin ve biyo-bazlı geciktiricilerin sinerjik kullanımının en etkili yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Malzemelerin yangın tehlikesi olan bölgelerde kullanımının hala sınırlı olduğu belirtilerek; gelecekte halojen içermeyen alev geciktiricilerin (fosfor veya azot bazlı alev geciktiriciler) ve kimyasal olarak modifiye edilmiş biyobazlı alevin sinerjik etkilerini ve entegre yaklaşımlarını kullanan “yeşil çözümlerin” inşaat, havacılık ve otomotiv gibi alanlar için geliştirilmesi önerilmiştir [13].

Liu ve arkadaşları (2019), termoplastik poliüretan (TPU) matrisine entegre edilen lotus etkisinden ilham alan biyomimetik bir alev geciktirici sistemi araştırmışlardır. ASTM D2863 (LOI), ASTM D3801 (UL-94) ve ISO 5660 (Koni Kalorimetresi) standartlarına göre yapılan testlerde, malzemenin ısı salınımı tepe noktasında %87 ve duman üretiminde %63,2 oranında düşüş sağlandığı kaydedilmiştir [14].

Yang ve arkadaşları (2021), biyopolimer, ahşap ve bitkisel bazlı malzemelerden üretilen üç yaygın biyolojik bazlı yapı malzemelerinin yangın riskini azaltma ve alev geciktirici uygulamalarını derlemişlerdir. Fitik asit, polidopamin, siklodekstrin ve bitkisel özlü ürünler gibi biyolojik olarak esinlenilmiş bileşiklerden üretilen bileşenlerin mükemmel kömürleşme kapasitesi sayesinde yangın direncini artırdığı saptanmıştır. Çalışmada laboratuvar aşaması ile ticari uygulama arasındaki uçuruma dikkat çekilmiş; etkili bir alev geciktirici sistemin yüksek maliyetli olmaması veya sağlık sorunlarına yol açmaması için gelecek araştırmaların biyokütle kaynaklı malzemeler için yangın performansı, sağlık, ekonomi ve çevre arasında dengeyi koruyacak şekilde daha uygun kriterlerle oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır [15].

Zhang ve arkadaşları (2021), miselyum liflerinin besin ortamına silikon (Si) ekleyerek termal kararlılıklarını artırmayı hedeflemişlerdir. Mikro ölçekli yanma kalorimetresi (MCC) testleri, Si zenginleştirmenin tepe ısı salınım hızını (PHRR) %50 ve toplam yanma ısısını %35,09 oranında düşürdüğünü; Si-O-Si bağlarının termal bariyer görevi görerek gaz çıkışını geciktirdiğini kanıtlamıştır [5].

Abboud ve arkadaşları (2021), dialdehit selüloz (DAC) ve amino-fonksiyonelleştirilmiş MCM-41 silika mikrokürelerinden oluşan nanokompozitler sentezlemişlerdir. TGA ve DTA analizleri, silikanın selülozun kömür verimini %49,7'ye çıkardığını, ısı salınımını azalttığını ve silikanın gözenekli yapısının termal bir yalıtım bariyeri görevi görerek gaz fazındaki yanıcı ürünleri azalttığını ortaya koymuştur [16].

Xu ve arkadaşları (2023), kapok lifleri, PVA ve biguanid fosfonat (BGP) kullanarak 3D ağ yapılı tübüler aerogeller tasarlamışlardır. Koni kalorimetresi testleri, BGP katkısının duman üretimini (TSP) %86,1 oranında azalttığını, malzemenin üç kez üst üste tutuşturulmasına rağmen hızla kendi kendine söndüğünü ve koruyucu bir kömür kalkanı oluşturduğunu göstermiştir [17].

Aza-Medina ve arkadaşları (2023), totora bitkisinden üretilen panellerin boraks/şap tedavisi sonrası yangın tepkisini incelemişlerdir. İşlem görmüş totora numunelerinin tutuşma süresinin 3 saniyenin altına düştüğü (null ignition), kendi kendine sönme özelliği gösterdiği ve karbonize bir tabaka oluşturarak iç kısmı etkili bir şekilde koruduğu sonucuna varılmıştır [18].

Vidal ve arkadaşları (2023), kenevir ve keten lifi takviyeli biyobazlı epoksi reçine kompozitlerinin yangın direncini değerlendirmişlerdir. Çalışmada kenevir esaslı kompozitlerin ketene göre daha yüksek yangın dirençli sergilediği, bio-reçinenin alev yayılımını yavaşlattığı ve testler sırasında herhangi bir yanan damla oluşmadığı saptanmıştır [3].

Dar Saleh ve arkadaşları (2023), tarihi binaların restorasyonunda kullanılan kenevir, keten, kenaf ve patlamış pirinç gibi biyomalzemelerin termal ve yangın performanslarını literatür üzerinden karşılaştırmışlardır. Yapılan değerlendirmede, kenevir liflerinin en yüksek "Sınıf A" yangın direncine sahip olduğu, keten ve kenafın ise sırasıyla B ve C sınıflarında yer aldığı saptanmıştır [19].

Martínez ve arkadaşları (2024), kenevir odunsu dokusu (hemp shiv) ve geri dönüştürülmüş karton liflerinden üretilen panelleri arap zamkı ve kolofon ile kaplamışlardır. Yapılan testlerde, arap zamkı kaplamalı numunelerin "Sınıf E" yangın gereksinimlerini karşıladığı ve yangın yayılımını engellediği, ancak kolofon kaplamanın yangın performansını olumsuz etkilediği görülmüştür [20].

Fan ve arkadaşları (2024), kavak odununu borat bazlı supramoleküler reçinelerle modifiye ederek biyomimetik gradyan yapılı kompozitler üretmişlerdir. Yapılan değerlendirmelerde, malzemenin V-0 derecesine ulaştığı, duman salınımının %74 azaldığı ve yangın performans indeksinin (FPI) 2,5 kat arttığı sonucuna ulaşılmıştır [21].

Rodríguez Neira ve arkadaşları (2024), çeltik kabuğu atıklarından boratlı geciktiriciler kullanarak yalıtım panelleri geliştirmişlerdir. Yapılan testlerde, Solubor (sodyum borat) katkılı numunelerin hiç tutuşmadığı, kontrol grubuna göre içten yanma (smoldering) hızının %50 oranında azaldığı ve silika içeriğinin doğal bir direnç sağladığı saptanmıştır [22].

Aravena ve arkadaşları (2024), buğday samanı üzerinde yetiştirilen Pleurotus ostreatus miselyum bloklarının yangın davranışını değerlendirmişlerdir. Blokların on birinci alev uygulamasından sonra 1 saniyenin altında sönme süresi sergilediği, miselyumun "bağlayıcı" olarak kömürleşme eğilimini artırdığı ve ısı salınımını sınırlayarak yapısal bütünlüğü koruduğu saptanmıştır [23].

Abu-Jdayil ve arkadaşları (2024), kil bazlı aerogel kompozitlerin doğal polimerlerle (nişasta, selüloz, lignin) güçlendirilmesinin yanma davranışına etkisini incelemişlerdir. UL-94 ve koni kalorimetresi testleri çerçevesinde, inorganik-organik hibrit aerogellerin HF-1 derecesinde kendi kendine sönme özelliği sergilediği ve sepiolit kili oranının artmasıyla alev yayılımının tamamen durdurulabildiği sonucuna varılmıştır [24].

Lucherini ve arkadaşları (2025), doğal yangınlara maruz kalan yapısal ahşap elemanların etkili kesit alanına farklı ısıtma ve soğutma rejimlerinin etkisini incelemişlerdir. Ahşabın yangın direncinin birincil olarak ısıtma aşamasındaki kömürleşme derinliğiyle belirlendiği, ancak soğuma aşamasının da bu sürece ihmal edilemeyecek bir katkı sunduğu saptanmıştır. Çalışmada özellikle yapısal güvenlik hesaplamalarında soğuma evresinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [25].

Li ve arkadaşları (2025), hızlı büyüyen kavak odununu potasyum format (HCOOK) ile modifiye ederek selektif katalitik piroliz stratejisini araştırmışlardır. Yapılan testlerde, malzemenin Sınırlı Oksijen İndeksi (LOI) %35,8'e yükselmiş, toplam duman üretimi (TSP) %66,19 oranında azalmış ve yoğun bir kömür katmanı (char) oluşumuyla yangın güvenliğinin arttığı sonucuna varılmıştır [26].

Huang ve arkadaşları (2025), kavak odunu kontrplakları için kitosan, malik asit ve fitik asit içeren biyobazlı bir yapıştırıcı geliştirmişlerdir. Yapılan değerlendirmelerde, fitik asidin yüksek fosfor içeriği sayesinde malzemenin LOI değerini %30,2'ye çıkardığı ve malzemenin alev kaynağından çekildikten sonra 10 saniye içinde kendi kendine sönme özelliği kazandığı gözlemlenmiştir [27].

Sharma ve Le Ferrand (2025), 3D yazıcıyla üretilmiş ahşap-PLA iskeletler üzerinde büyütülen miselyum kompozitlerini incelemişlerdir. Yapılan testler, miselyum tabakasının iskeleti kaplayarak bir kömürleşme

tabakası oluşturduğunu, polimerin erimesini engellediğini ve tasarım odaklı olarak yangın yayılımını azalttığını göstermiştir [28].

Lv ve arkadaşları (2025), kitosan ve sodyum dihidrojen fosfattan (NaH2PO4) oluşan şeffaf ve aktif yangın uyarıcı bir kaplama tasarlamışlardır. Yapılan testlerde, kaplamanın LOI değerini %51'e çıkardığı, V-0 derecesine ulaştığı ve yangın anında direnç değişimi yoluyla <2 saniyede alarm tetiklediği görülmüştür [29].

Chai ve arkadaşları (2026), lamine bambu kerestelerin (LBL) yanma davranışını su ve katı fazlı amino reçine sistemleri ile iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Yapılan bir taraflı yangın maruziyet testleri, amino reçine işleminin kömürleşme hızını %28 azalttığını ancak çekme ve eğilme mukavemetinde hafif düşüşlere neden olduğunu ortaya koymuştur [6].

Nguyen ve arkadaşları (2026), yatak atıklarını (poliüretan köpük) Penicillium chrysogenum mantarı ile miselyum bazlı yalıtım malzemelerine dönüştürmüşlerdir. Yangın direnci yalnızca TGA verileri (termal stabilite) ile değerlendirilmiş; kompozitlerin 1000°C sıcaklıkta bile kütlesinin %90'ını koruyabildiği, kalsiyum karbonat biyomineralizasyonunun termal tampon görevi gördüğü saptanmıştır [30].

Akintunde ve arkadaşları (2026), miselyum bazlı kompozitlerin (MBC) sentetik muadillerine alternatif olarak yüksek yangın dereceli inşaat malzemesi olma potansiyelini incelemişlerdir. MBC'lerin düşük ısıtma hızlarında bile %48'e varan yüksek kömürleşme oranı sergilediği, tutuşmayı geciktirdiği ve duman üretimini minimize ettiği sonucuna varılmıştır. Mevcut çalışmaların çoğunlukla laboratuvar ölçeğinde kaldığı vurgulanmış; MBC'leri bağlayıcı içermeyen substratlar ve reçine bağlı sistemlerle karşılaştıran üçlü bir kontrol çerçevesinin olmamasının, miselyumun yangın geciktiriciliğine katkılarını anlamamızı engellediğinden bahsedilmektedir. Bu nedenle sonraki çalışmalarda miselyum, substrat ve katkı maddesi etkilerini birbirinden ayıracak "üçlü çalışmaların" yapılması ve standartlaştırılmış test protokollerinin geliştirilmesi önerilmiştir [31].

Kolya ve arkadaşları (2026), ahşabın korunması için biyokömür, kaolin, polivinil asetat ve trimetilsilil polifosfat içeren sürdürülebilir alev geciktirici bir kompozit kaplama geliştirmişlerdir. Bu biyo-bazlı kaplamanın ahşabın yangın korumasını ve duman bastırma özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği saptanmıştır. Geliştirilen kompozit kaplamanın, inşaat ve iç mekân uygulamalarında ahşabın yangın güvenliğini artırmak için halojen içermeyen, sürdürülebilir bir çözüm sunduğu belirtilmektedir. Çalışmada, erken tutuşma ve uzun vadeli dayanıklılık testlerinin eksikliğinin sınırlamalar olarak kaldığı, gelecekteki çalışmalarda ise, uzun vadeli nem dayanıklılığının değerlendirileceği belirtilmiştir [32].

Da Silva Valadas ve arkadaşları (2026), Ganoderma lucidum miselyumu, huş ağacı talaşı ve yün liflerinden oluşan yalıtım kompozitlerinin yangın performansını test etmişlerdir. Yün takviyeli kompozitlerin 2100 saniyeden fazla doğrudan alev direncine ulaştığı, stabil bir kömür katmanı oluşturduğu ve duman salımının sınırlı kaldığı görülmüştür [4].

Arpacı Coşkun ve Serteser (2026), biyobazlı yalıtım malzemelerinin (kenevir, keten, saman, ahşap lifi ve miselyum) sürdürülebilirlik avantajları ile yangın emniyeti riskleri arasındaki kritik dengeyi, Türkiye'deki "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" (BYKHY) ve uluslararası yeşil bina sertifika sistemleri (LEED, BREEAM, DGNB) çerçevesinde ele almışlardır. Çalışma, bu malzemelerin doğal yanıcılık ve duman üretimi özelliklerini, kullanılan alev geciktirici (FR) kimyasalların çevresel etkileri ve yaşam döngüsü performansıyla birlikte değerlendirmiştir. İnceleme sonucunda, kaplamasız biyobazlı malzemelerin genellikle

düşük yangın sınıflarında (E-F) yer aldığı, ancak mineral kaplamalar veya bor/fosfor bazlı katkılarla performansın C-B seviyelerine çekilebildiği; buna karşın mevcut yeşil bina sertifikalarının FR kimyasallarının toksisitesini yeterince sorgulamadığı saptanmıştır. Çalışmada tekil malzeme testlerinin sistem ölçeğindeki (cephe, çatı gibi) yangın davranışını tam olarak yansıtmadığı belirtilerek; sonraki çalışmalarda toksik olmayan yeni nesil biyopolimer katkıların geliştirilmesi ve yangın güvenliğinin mimari tasarım sürecine "malzeme-katkı-detay" bütünlüğünde, bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesi önerilmiştir [33].

Çalışmalar bütün olarak değerlendirildiğinde, biyomalzeme araştırmalarının sürdürülebilirlik ile yangın güvenliği arasındaki ilişkiyi ve dengeyi kurmaya odaklandığı görülmektedir.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamına alınan makaleler; biyomalzemelerin yangın davranışı, uygulanan iyileştirme stratejileri ve yangın yönetmelikleri ile kurulan ilişki olmak üzere üç ana konu üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak çalışmalarda yangın yönetmeliklerine ilişkin öneride bulunulmadığı görülmektedir. Yalnızca üretime ilişkin standartlara atıflar yer almaktadır.

Çalışmalarda incelenen biyobazlı yapı malzemeleri, yapısal özellikleri ve üretim stratejilerine göre 5 ayrı grupta derlenebilir:

- Ahşap Bazlı Kompozitler: Geleneksel masif ahşap (kavak vb.), yapısal taşıyıcı potansiyeli yüksek olan Lamine Bambu Kerestesi (LBL) ve kontrplak gibi ürünleri kapsar. Bu malzemeler, yüksek mekanik mukavemetlerine rağmen doğaları gereği yanıcıdırlar ve yapısal bütünlüklerini koruyarak yangın standartlarını karşılayabilmeleri için potasyum format (HCOOK) veya amino reçineleri gibi emprenye/kaplama işlemlerine ihtiyaç duyarlar [6,26].
- Tarımsal Atıklar ve Doğal Lifler: Pirinç kabuğu (rice husk), patlamış pirinç, kenevir lifi (hemp shiv) ve totora bitkisi gibi yöresel tarımsal yan ürünlerden elde edilen yalıtım malzemelerini ifade eder. Sentetik yalıtım malzemeleri ile rekabet edebilecek kadar düşük ısıl iletkenliğe (0.037 - 0.058 W/mK) sahip olsalar da, yanıcılık risklerini ve içten yanma (smoldering) hızlarını düşürmek için sodyum borat veya sitrik asit gibi zararsız bağlayıcılarla desteklenirler [18, 19, 20, 22].
- Biyo-bazlı Polimerler ve Kaplamalar: Biyomalzemeleri yangına ve suya karşı korumak veya bağlamak amacıyla kullanılan organik kaplamalar ve yapıştırıcılardır. Fitik asit ve kitosan (PA-MACS) kullanılarak üretilen biyo-yapıştırıcılar ile kimyasal olarak geri dönüştürülmüş atık polyesterlerden elde edilen şeffaf ahşap kaplamaları bu grupta yer alır ve geleneksel formaldehit bazlı zehirli yapıştırıcılara sürdürülebilir bir alternatif sunarlar [27, 29].
- Mantar / Miselyum Kompozitleri (MBC): Tarımsal atıklar (saman, yün) veya PLA tabanlı 3D yazıcı iskeletleri üzerinde büyütülen miselyum ağlarını içerir. Hatta kullanım ömrünü tamamlamış poliüretan yatak süngerlerinin miselyum ile geri dönüştürüldüğü sistemler bu gruptadır. Miselyum kompozitleri, düşük ısıl iletkenliklerinin yanı sıra ateşe maruz kaldıklarında kendi kendine sönme ve kömürleşme eğilimleriyle öne çıkan proaktif yalıtım malzemeleridir [30, 28, 4].
- Yenilikçi / Biyomimetik Sistemler: Doğadaki yapısal geçişlerden ilham alarak tasarlanan çok fonksiyonlu sistemlerdir. Nilüfer yaprağı ilhamlı hidrofobik-intümesan (şişen) alev geciktiriciler (HIFR), kemik ve kabukluların yapısından ilham alan «gradyan yoğunlaştırma» (gradient densification) teknolojileri ve yangın anında elektriksel direnç değiştirerek saniyeler içinde akıllı yangın alarmı veren kitosan bazlı sensör kaplamalar bu ileri teknoloji grubunu oluşturur [21, 14, 29].

4.1. Yangın davranışı

Çalışmalarda ele alınan malzemelerin her biri farklı ısıl iletkenlik ve yangın dayanımına sahiptir. İncelenen malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri ve yangın dayanımları/sınıfları Tablo 2'de özetlenmektedir.

Tablo 2. Temel Biyomalzemelerin Isıl İletkenlik ve Doğal Yangın Sınıflandırması

Biyomalzeme Türü	Isıl İletkenlik Değeri (W/m·K)	Doğal / Modifiye Yangın Sınıfı ve Davranışı	Kaynak
Kenevir	0.038 – 0.060	Doğal Sınıfı: Euroclass E	[19]
Kenaf	0.034 – 0.043	Doğal Sınıfı: Euroclass D-E	[19]
Keten	0.038 – 0.075	Doğal Sınıfı: Euroclass E	[19]
Jüt Lifi	0.038 – 0.055	Doğal Sınıfı: Euroclass E	[19]
Odun Lifi	0.038 – 0.050	Doğal Sınıfı: Euroclass E	[19]
Hindistan Cevizi Lifi	0.040 – 0.045	Doğal Sınıfı: Euroclass D-E	[19]
Mantar	0.037 – 0.050	Doğal Sınıfı: Euroclass B	[19]
Patlamış Pirinç	0.049	Doğal Derecesi: A	[19]
Kenevir Sapı Kıymığı	0.02 – 0.03 (Geri dönüştürülmüş karton bağlayıcılı)	Doğal olarak yangına direnci düşüktür; kolofon ve arap zamkı kaplamasıyla Sınıf E standardına ulaşır.	[20]
Pirinç Kabuğu	0.046 – 0.057 (Ham)0.037 (NaOH ile preslenmiş panel)	Doğal hali yavaş içten yanmaya meyillidir. %10 Solubor borat tuzu takviyesiyle yangın tutuşması tamamen engellenir ve içten yanma durdurulur.	[22]
Totora Kamışı (Schoenoplectus californicus)	0.045 – 0.048 (Ezilmiş lif)0.049 – 0.054 (Bütün gövde)	Doğal olarak yanıcıdır ancak yüzeyde koruyucu bir karbon tabakası oluşturur. Şap ve boraks katkısıyla doğrudan alev altında dahi tutuşmaz.	[18]
Miselyum Lifi (Mycelium fiber - F. oxysporum / P. ostreatus)	0.03 – 0.05	Doğal olarak yüksek kömürleşme eğilimine sahip olup, sentetik PVA liflerinden çok daha yüksek yangın direncine sahiptir. %3 Silis (Si) takviyesiyle ısı salınım hızı %50 düşer.	[5]
Miselyum Kompozit (Ganoderma lucidum - Ahşap Yongası)	0.050 – 0.0620.059 – 0.066 (Blok kesim)	Doğal halinde Euroclass E seviyesindedir. Doğal yün takviyesi (MBCW) uygulandığında alev altında taşıyıcı bütünlüğünü koruma süresi 2100 saniyenin üzerine çıkar.	[4]
Miselyum-Yatak Atığı Kompoziti (Penicillium chrysogenum)	0.048 ± 0.002	Atık poliüretanın biyolojik dönüşümüyle kalsiyum karbonat biyo-mineralizasyonu oluşur; 1000 °C gibi ekstrem sıcaklıklarda kütlesinin %90'ını koruyarak geleneksel cam yününü geride bırakır.	[30]
Miselyum (Saman bazlı)	0.040 - 0.080	Doğal halinde Euroclass E seviyesindedir.	[23]
Biyomimetik Gradyan Yoğunlaştırılmış Ahşap (UGD-RB)	Yoğunluğa bağlı olarak değişkendir	Doğal ahşabın LOI değeri %22 iken; hücresel boşluklarda in-situ kürlenen akrilik reçine/borat supramoleküler yapısı sayesinde LOI %43–54 aralığına çıkar ve UL-94 V-0 yüksek yangın dayanım derecesi kazanır.	[21]
Kapok Lifi Aerojelleri (KF-PVA-BGP)	0.03 – 0.05 (Ham lif)0.0503 (Aerojel)	Doğal içi boş borumsu yapısı sayesinde düşük iletkenliğe sahiptir; biguanid fosfonat (BGP) çapraz bağlayıcıyla alev altında kendiliğinden sönen ve damlama yapmayan yapı kazanır.	[17]

Biyomalzemelerin doğal yangın performansı malzemenin kökenine göre farklılık göstermektedir (Tablo 2). Patlamış pirinç, biyo-bazlı bir yalıtım malzemesi olarak öne çıkmaktadır [19]. Benzer şekilde, miselyum da alevleri sürdürmek yerine kömürleşme eğilimi göstermektedir [23]. Ham kenevir, keten, jüt ve hindistan cevizi lifi gibi doğal lifler ise yanıcı özelliktedir.

4.2. Olumlu- olumsuz özellikler ve stratejiler

Çalışmaların biyomalzeme tabanlı yapı ürünlerinin yangın güvenliğini artırmaya yönelik uygulamış olduğu yaklaşımlar kömürleşme katmanı oluşumu, gaz fazı koruması, alev geciktiriciler ve aktif yangın uyarı sistemlerinin kullanımı olarak görülmektedir.

Biyomalzemelerin yangın güvenliği açısından avantajı, bazılarının alevi yaymak yerine yalıtkan bir kömür tabakası oluşturma eğilimi göstermesidir. Örneğin, miselyum bazlı kompozitler ateşe maruz kaldığında kendi kendine sönme davranışı sergiler ve alev kaynağı çekildikten sonra yanmayı sürdürmezler [4]. Totora (Schoenoplectus californicus) bitkisi de dışarıdan bir ısı kaynağına maruz kaldığında yüzeyinde koruyucu bir karbon tabaka oluşturarak iyi bir doğal yangın yalıtımı sunar [18]. Ayrıca, patlamış pirinç (puffed rice) gibi tarımsal atıklardan elde edilen bazı biyomalzemeler de düşük içten yanma hızları ve doğal silika içerikleri sayesinde ticari yalıtım malzemeleriyle rekabet edebilecek düzeyde yangın direnci sergiler [19]. Diğer taraftan, biyomalzemelerin ana bileşeni olan organik karbon bileşenleri (selüloz, hemiselüloz, lignin vb.) yapıları gereği yanıcıdır [21]. Kontrplak, lamine bambu kerestesi (LBL), böcek bazlı biyomalzemeler ve kenevir, keten gibi ham doğal lifler işlenmedikleri takdirde hızla tutuşur, yüksek ısı salınımı yapar ve zehirli duman açığa çıkarırlar [26, 19, 17]. Yangın direncini artırmak için endüstride sıkça kullanılan halojen ve fosfor bazlı geleneksel alev geciktiriciler yangını önlemede oldukça etkili olsalar da yanma anında insan sağlığına ve çevreye zararlı toksik gazlar salgılama gibi ciddi olumsuzluklara sahiptirler [16]. Ek olarak, biyomalzemelere uygulanan bazı yangın geciktirici emprenye işlemleri malzemenin mekanik dayanımında değişimlere yol açabilmektedir; örneğin, lamine bambu kerestesine basınçla uygulanan alev geciktirici işlemler malzemenin eğilme ve çekme dayanımında belirgin düşüşlere neden olmaktadır [6].

Çalışmalarda yaygın olarak görülen strateji, oksijen ve ısı transferini kısıtlayan stabil ve yalıtkan bir kömür tabakası oluşturabilmektir. Ahşap veya bambu hücrelerine amino reçineleri, boratlar gibi maddeler entegre etmek, malzemenin dış yüzeyinde ısı iletkenliği düşük, yalıtkan ve köpüklü bir kömür tabakası oluşturarak oksijen girişini ve ısının içeri işlemesini fiziksel olarak kısıtlar [6, 21]. Hasat sonrası Pleurotus ostreatus bloklarında miselyum, yüzey kömürleştikçe alev almaya karşı direnci artan ve alevleri neredeyse anında söndüren doğal bir bağlayıcı görevi görmektedir [23]. Miselyum kompozitlerine koyun yünü eklenmesi, lif-hif kilitlenmesini teşvik ederek oldukça kesintisiz ve kararlı bir kömür tabakasının korunmasını sağlamaktadır. Miselyum yapısına silikonun dahil edilme yöntemi nitel sonucu etkilemektedir. Silika parçacıkları miselyum alt tabakasına fiziksel olarak karıştırıldığında, ağın bağlarını bozarak kömür tabakası bütünlüğünü zayıflatır ve yangın performansını kötüleştirir [4]. Ancak Fusarium oxysporum mantarları hücresel boyutta metabolik olarak silikonla beslendiğinde, yanma sırasında koruyucu kömür tabakası üretir. Doğal liflerin henüz büyüme aşamasındayken müdahaleye dayanan bu stratejide, Fusarium oxysporum gibi mantarların besin ortamına silikon (Si) eklenir. Mantar, bu silikonu metabolize ederek hücresel yapısında termal olarak oldukça kararlı Si-O-Si bağları oluşturur; bu sayede liflerin ısı salınım oranı yarı yarıya düşer ve yanıcılığı engellenir [5].

Gaz fazı koruması, malzemenin yanıcı olmayan gazlar salmasını sağlamak ve alevi oksijensiz bırakmak üzerine kurulu bir stratejidir. Yanıcı gazların yayılmasını kontrol etmek ve kullanıcıların güvenliğini sağlamak açısından önem göstermektedir. Potasyum format (HCOOK), düşük sıcaklıklarda (170–310 °C) dekarbok-

silasyonu katalize ederek büyük miktarda yanıcı olmayan CO_2 salınımını tetiklemektedir. Böylece yanıcı uçucuları seyrelterek zehirli dumanı ciddi şekilde bastırmaktadır [26]. Benzer şekilde, kontrplakta kullanılan fitik asit ve kitosan bazlı biyo-yapıştırıcılar PA-MACS yapıştırıcısı yanıcı olmayan NH_3, CO_2 ve H_2O gazları salarak alevi oksijensiz bırakmaktadır [27]. Ahşap için kullanılan gradyan yoğunlaştırma ve poliakrilik asit/borat (DOT) reçine hibriti sistemi, yanma esnasında kristalize su buharı salarak gaz fazında yanıcı gazları hızla seyrelterek duman bastırma görevi görmektedir [21].

Biyomalzemelerin yangın dayanımını artırmak amacıyla yapılan uygulamalar malzeme dayanımında değişikliklere neden olabilmektedir. Lamine Bambu Kerestesine (LBL) alev geciktiriciler emdirmek, çekme dayanımında %14 ve eğilme dayanımında %6'lık bir düşüşe neden olmaktadır [6]. Öte yandan, gradyan yoğunlaştırma (gradient densification) teknolojisi yüzey sertliğini yaklaşık 2,4 kat ve eğilme dayanımını yaklaşık %52 oranında artırır [21].

Çalışmalarda ele alınan biyomalzemelere uygulanan işlemler ve işlemlerin malzemenin mekanik performansına ve yangın performansına etkileri Tablo 3'te özetlenmektedir.

Tablo 3. Yangın Geciktirici İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi

Biyomalzeme Türü	Uygulanan İşlem	Mekanik Performans Değişimi	Yangın Performansı Etkisi	Kaynak
Lamine Bambu Kerestesi (LBL)	Katı Faz Amino Reçine (Type B)	Çekme: -%14, Eğilme: -%6, Basınç: +%11 ila +%33	Karbonlaşma hızı %28 azaldı; teğetsel yönde daha etkili.	[6]
Lamine Bambu Kerestesi (LBL)	Su Bazlı Formülasyon (Type A)	Veri mevcut değil (Type B'ye göre daha düşük dayanım)	Karbonlaşma direnci Type B'den daha düşüktür.	[6]
Pirinç Kavuzu Paneli	%10 Solubor (Sodyum Borat)	Yoğunluk: 97,32 kg/m³; NRC: >0.7	Ateşleme gerçekleşmedi; içten yanma hızı sıfıra indirildi.	[22]
Pirinç Kavuzu Paneli	%10 H3BO3 + Boraks	Su Absorbsiyonu: %80 (24sa)	İlk ateşleme süresinde %65,71 iyileşme; koruyucu camsı tabaka oluşumu.	[22]
Pirinç Kavuzu Paneli	İşlemsiz (RH-U)	Termal İletkenlik: 0.037 W/mK	İçten yanma hızı: 3.40 mm/dak (Odun lifinden %50 daha yavaş).	[22]
Ahşap (Kavak vd.)	UGD-RB-4	%52 eğilme artışı, 2,4 kat yüzey sertliği. Sinerji.	V-0 derecelendirmesi, LOI değeri %54	[21]

Tarımsal atık ve masif ahşap esaslı biyomalzemelerin tutuşma direncini artırmada bor bileşikleri en etkili stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Pirinç kabuğu panellerinde Solubor veya Borik Asit + Boraks uygulaması, alevli yanma testlerinde malzemenin tutuşmasını tamamen engellemiş ve içten yanma hızını sıfırlamıştır [22]. Kenevir sapı (hemp shiv) ve geri dönüştürülmüş karton liflerinden üretilen biyokompozitlerde arap gamı (gum arabic) ve mineral katkı kullanımı, malzemenin EN 13501 standardına göre Yapı Malzemeleri Yangın Sınıflandırmasında Tip E gereksinimlerini karşılamasını sağlamıştır [20]. Hızlı büyüyen kavak odununun disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT) ile işlenmesi, malzemenin yangın geciktirme derecesini ve char (kömürleşmiş tabaka) kararlılığını önemli ölçüde yükseltmiştir [21].

Ahşap ve biyokompozit alt tabakaların mekanik performansını düşürmeden yangın güvenliği sağlamak amacıyla yenilikçi yüzey kaplama stratejileri geliştirilmiştir. Kitozan (chitosan) bazlı kaplamalar, ahşap yüzeylerde şeffaf bir bariyer oluşturarak alev temasında intümesan koruyucu bir tabaka meydana getirmekte ve aynı zamanda erken yangın uyarısı sağlayan sensör işlevi görebilmektedir [29]. Dialdehit selüloz (DAC) esaslı nanokompozit kaplamalar, yanma sırasında açığa çıkan duman ve toksik gaz salımını bastırmada yüksek başarı göstermiştir [16]. Nilüfer (lotus) yaprağının mikroyapısından esinlenilerek geliştirilen biyo-

mimetik hidrofobik intümesan alev geciktiriciler (HIFR), matris yüzeyinde suya dayanıklı ve yüksek yangın dirençli bariyerler oluşturmaktadır [14]. Kitosan ve NaH2PO4 (PC) bileşiminden oluşan şeffaf kompozit kaplamalar ise ahşap yüzeylerde sadece pasif bir bariyer oluşturmakla kalmaz; aynı zamanda ateşe maruz kaldığında saniyeler içinde elektrik direncini düşürerek aktif ve akıllı bir yangın alarmı sinyali üretir [29].

Geleneksel kompozitlerde kullanılan petrol türevli, yanıcı ve toksik formaldehit/melamin reçineleri yerine biyolojik bağlayıcıların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Doğal ahşap yapıştırıcılarında formaldehit yerine kitozan, malik asit ve sebasik asit kombinasyonundan elde edilen PA-MACS biyoyapıştırıcısının kullanımı, ahşap panellerin tutuşma süresini uzatmış ve kendi kendini söndürme yeteneği kazandırmıştır [27]. Melamin reçinelerine %20-30 oranında hayvansal tutkal eklenmesi, kontrplak malzemenin yangın karşısında kendiliğinden sönme yeteneğini artırmıştır [12]. Benzer şekilde, atık polyesterlerin geri dönüşümünden elde edilen bileşenlerin lignin, selüloz ve soya proteini ile harmanlanmasıyla elde edilen biyo-reçineler, ahşap kompozitlerde yangın dayanımlı kaplama olarak başarıyla uygulanmıştır [5].

Pasif güvenlik stratejilerinin yanı sıra bir diğer yaklaşım olarak, ahşap üzerine uygulanan şeffaf kitosan/NaH2PO4 (PC-15) kompozit kaplama, sadece alev geciktirici olmakla kalmamakta; aynı zamanda aktif bir yangın uyarı sensörü görevi görmektedir. Yangın başladığında, kaplamanın ara katman elektronlarının termal aktivitesi artarak elektriksel dirençte büyük bir düşüş yaratır ve 2 saniyenin altında akıllı yangın alarmlarını tetiklemektedir [29].

5. SONUÇ

İnşaat sektöründe kullanılan geleneksel malzemelerin yüksek karbon ayak izine, enerji yoğun üretim süreçlerine ve çevresel toksisiteye sahip olması araştırmacıları farklı malzeme arayışlarına itmiştir. Bu noktada ortaya çıkan biyo-malzemeler ve bu malzemeler kullanılarak üretilen yapı ürünleri geleneksel malzemelere alternatif olarak gelişmeye devam etmektedir. Ancak henüz bu malzemeler hakkında yeterince çalışma olmaması ve özellikle yapıda kullanım esnasında çok önemli olan yangın karşısındaki davranışlarının yeterince bilinmemesi, bu malzemelerin benimsenmesini ve ticarileşmesini engellemektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında literatürde yer alan çeşitli biyomalzemeler ve yangın testleri sonucunda ortaya çıkan yangın dayanımı, kömürleşme tabakası, duman salımı gibi özellikler incelenerek, bir araya getirilmiştir.

İncelenen çalışmalarda, biyobazlı malzemelerin (miselyum, kenevir, saman, pirinç kabuğu vb.) doğal hallerinde yüksek yanıcılık (Euroclass E veya F sınıfı) sergiledikleri görülmüştür. Ancak, özellikle miselyum tabanlı kompozitlerin yanma sırasında alev almaktan ziyade hızla kömürleşme eğilimi gösterdiği ve bu karbon tabakasının iç kısımları ısıdan koruyan doğal bir bariyer görevi gördüğü saptanmıştır. Bu durum, biyomalzemelerin yangın karşısında doğru işlemlerle pasif bir koruma sağlayabileceğini göstermektedir. İnşaat sektöründe sıklıkla kullanılan geleneksel ve toksik olabilecek alev geciktiricilerin yerine de daha çevreci ürünlerin kullanılabileceği görülmektedir.

Yangın güvenliğinde en önemli etkenlerden olan can güvenliğinin sağlanması noktasında ise can kayıplarının ana nedeni olan duman salımının kontrol altına alınması gerekmektedir. İncelenen çalışmalarda, özellikle borat bazlı veya silikon ile zenginleştirilmiş sistemlerin toplam duman üretimini %60 ile %86 gibi ciddi oranlarda düşürebildiği tespit edilmiştir. Bu da biyobazlı yapı ürünlerinin birçoğunun sadece “yeşil” değil, aynı zamanda “hayat kurtarıcı” bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynaklardan elde edilen sonuçlar, geleceğin biyomalzemelerinin sadece yanmaya direnmekle kalmayıp, erken yangın uyarısı veren sensör özellikli kaplamalarla (kitosan-NaH2PO4 hibritleri gibi) donatılmasının önemini de göstermektedir.

Ancak çalışmaların büyük çoğunluğunda ISO 4589 (LOI), ASTM D3801 (UL-94) ve ISO 5660 (Koni Kalorimetresi) gibi uluslararası standartlar kullanılsa da laboratuvar ölçeğindeki başarıların yapı ölçeğine (cephe, çatı sistemleri) aktarılmasında ve yönetmeliklere entegre edilmesinde bir boşluk olduğu görülmektedir. Üretilen biyobazlı yapı ürünlerinin, yapıda hangi katmanlarla nasıl kullanılabileceğine dair veya hangi bina kullanım işlevlerinde, yapıda hangi yüzeylerde bu malzemelerin kullanılabileceği ile ilgili bilgiler henüz çok yetersiz kalmaktadır. Bu aşamada belirtilen konularla ilgili daha çok çalışma yapılarak biyobazlı yapı malzemelerinin sektöre kazandırılması önem taşımaktadır.

6. KAYNAKLAR

[1] UNEP-UN environment programme, Building Materials And The Climate: Constructing A New Future (www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future), 2023 (Erişim tarihi 29 Temmuz 2026)

[2] Winandy, J. E., & Morrell, J. J., Improving the utility, performance, and durability of wood- and bio-based composites. In Annals of Forest Science (Vol. 74, Number 1). Springer-Verlag France. https://doi.org/10.1007/s13595-017-0625-2, 2017

[3] Vidal, J., Ponce, D., Mija, A., Rymarczyk, M., & Castell, P. Sustainable Composites from Nature to Construction: Hemp and Linseed Reinforced Biocomposites Based on Bio-Based Epoxy Resins. Materials, 16(3). https://doi.org/10.3390/ma16031283, 2023

[4] Da Silva Valadas, N. I., Matos, A. M., & Heinonen, J., Influence of additives and fabrication route on the thermal and fireproofing of mycelium-based insulation composites. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability, 6(2). https://doi.org/10.1088/2634-4505/ae7153, 2026

[5] Zhang, X., Fan, X., Han, C., Li, Y., Price, E., Wnek, G., Liao, Y. T. T., & Yu, X. (Bill), Novel strategies to grow natural fibers with improved thermal stability and fire resistance. Journal of Cleaner Production, 320. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128729, 2021

[6] Chai, G., Cui, Z., Xu, M., Tu, L., & Ou, J., Influence of Flame-Retardant Treatments on the Combustion Behavior and Mechanical Performance of Laminated Bamboo Lumber. Polymer Composites, 47(6), 5404–5416. https://doi.org/10.1002/pc.70498, 2026

[7] Koç, Z.G. ve Tuna, G., "Yenilikçi Biyomalzeme Tabanlı Yapı Ürünlerinin İrdelenmesi / Examination of Innovative Biomaterial-Based Building Products." Xıv. International **Sınan** Symposıum / Xıv. Uluslararası Sinan Sempozyumu Architecture And Future / Mimarlık ve Gelecek, Edirne, Turkey, pp.653-662, 2025

[8] Koç, Z. G., "Yenİlİkçİ **Biyomalzeme Tabanlı Yapı** Ürünlerİnİn Üretİmİne Yönelİk Bİr Süreç **Modelİ", Yayınlanmamış Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2025**

[9] Buksans, E., Morozovs, A., & Rudzitis, E., Improvement of the reaction to fire performance of cellular wood material. PRO Ligno, 9(4), 203–210, 2013

[10] Buksans, E., Iejavs, J., & Rudzitis, E., Reaction to fire performance of cellular wood materials. In N. Werther & S. Winter (Eds.), Proceedings of the 1st European Workshop Fire Safety of Green Buildings (pp. 13–16). Shaker Verlag, 2015

[11] Stanwix, W., & Sparrow, A. The hempcrete book: Designing and building with hemp-lime. Green Books, 2014

[12] Khatua, P. K., Dubey, R. K., Roymahapatra, G., Mishra, A., Shahoo, S. C., & Kalawate, A., Development of Self Fire Retardant Melamine-Animal Glue Formaldehyde (MGF) Resin for the Manufacture of BWR Ply Board. Journal of The Institution of Engineers (India): Series D, 98(2), 195–202. https://doi.org/10.1007/s40033-016-0120-1, 2017

[13] Chukwunwike, S. A., Ezema Ike-Eze, I. C., Aigbodion, V. S., & Okafor, K. J., Flammability properties of flame retarded natural fibre reinforced polymer composites: An overview. Journal of Materials and Environmental Science, 10(7), 647-656, 2019

[14] Liu, L., Xu, Y., Li, S., Xu, M., He, Y., Shi, Z., & Li, B., A novel strategy for simultaneously improving the fire safety, water resistance and compatibility of thermoplastic polyurethane composites through the construction of biomimetic hydrophobic structure of intumescent flame retardant synergistic system. Composites Part B: Engineering, 176. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107218, 2019

[15] Yang, Y., Haurie, L., & Wang, D.-Y., Bio-based materials for fire retardant application in construction products: A review. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 147, 6563–6582, 2021

[16] Abboud, M., Bondock, S., El-Zahhar, A. A., Alghamdi, M. M., & Keshk, S. M. A. S., Synthesis and characterization of dialdehyde cellulose/amino-functionalized MCM-41 core-shell microspheres as a new eco-friendly flame-retardant nanocomposite. Journal of Applied Polymer Science, 138(15). https://doi.org/10.1002/app.50215, 2021

[17] Xu, Y., Yan, C., Du, C., Xu, K., Li, Y., Xu, M., Bourbigot, S., Fontaine, G., Li, B., & Liu, L., High-strength, thermal-insulating, fire-safe bio-based organic lightweight aerogel based on 3D network construction of natural tubular fibers. Composites Part B: Engineering, 261. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110809, 2023

[18] Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasta, A. M., & González-Lezcano, R. A., Characterization of the thermal behavior, mechanical resistance, and reaction to fire of totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material. Journal of Building Engineering, 69. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105984, 2023

[19] Dar Saleh, A., Agiel, A., Khoukhi, M., & Haris, S., Investigating the material properties of hemp fiber and puffed rice for use in heritage conservation. Heritage Science, 11(1). https://doi.org/10.1186/s40494-023-00975-8, 2023

[20] Martínez, B., Mendizabal, V., Roncero, M. B., Bernat-Maso, E., & Gil, L., Towards sustainable building solutions: Development of hemp shiv-based green insulation material. Construction and Building Materials, 414. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134987, 2024

[21] Fan, Q., Zhang, X., Chen, C., Hao, X., Liu, Z., Ou, R., & Wang, Q., Biomimetic versatile wood hybrids with gradient structure towards lightweight, high strength, fire-retardant, and deterioration-resistant materials. Composites Part B: Engineering, 280. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111483, 2024

[22] Rodríguez Neira, K., Cárdenas-Ramírez, J. P., Rojas-Herrera, C. J., Haurie, L., Lacasta, A. M., Torres Ramo, J., & Sánchez-Ostiz, A., Assessment of Elaboration and Performance of Rice Husk-Based Thermal Insulation Material for Building Applications. Buildings, 14(6). https://doi.org/10.3390/buildings14061720, 2024

[23] Aravena, M., Almonacid-Muñoz, L., Rojas-Herrera, C., Herrera, H., Cárdenas-Ramírez, J. P., Veliz Reyes, A., & Sagredo-Saez, C., Evaluation of the Thermal Insulation Potential of Post-Harvest Blocks Using the Native Strain of the Edible Mushroom Pleurotus ostreatus. Buildings, 14(12). https://doi.org/10.3390/buildings14123908, 2024

[24] Abu-Jdayil, B., Ajiwokewu, B., Ahmed, S., & Busura, S., Clay-Based Aerogel Composites. In Aerogels for Energy Saving and Storage (pp. 407–429). wiley. https://doi.org/10.1002/9781119717645.ch13, 2024

[25] Lucherini, A., **Šejnová** Pitelková, D., & Mozer, V., Estimating the effective char depth in structural timber elements exposed to natural fires, considering the heating and cooling phase. Engineering Structures, 323(A), 119255, 2025

[26] Li, Z., Wang, S., Gu, H., Sun, S., & Pan, M., A selective catalytic pyrolysis strategy for fire safety biomaterials. Chemical Engineering Journal, 520. https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.166050, 2025

[27] Huang, Y., Yang, Y., He, D., Liu, L., Wang, P., Bi, W., Kan, Z., Xu, K., Du, G., & Zhang, L., Supramolecular self-assembly for synthesis of novel chitosan-based adhesive in wood composites so as to improve waterproofing and flame retardancy. International Journal of Biological Macromolecules, 284. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.138121, 2025

[28] Sharma, D., & Le Ferrand, H., 3D printed gyroid scaffolds enabling strong and thermally insulating mycelium-bound composites for greener infrastructures. Nature Communications , 16(1). https://doi.org/10.1038/s41467-025-61369-x, 2025

[29] Lv, P. Y., Feng, X. L., Shi, Q., Wan, J. J., He, S. Y., Kong, D. M., Li, Y., Cao, C. F., Gao, J. F., Wang, W., Zhang, G. D., & Tang, L. C., Chitosan-based transparent and flame-retardant bio-composite coatings for wooden materials with rapid fire monitoring response. Construction and Building Materials, 491. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142765, 2025

[30] Nguyen, T. H. P., Thompson, L., Jahromi, F. T., Sumer, H., Alam, M. M., & Nikzad, M., Upcycling end-of-life mattresses into sustainable insulation materials through development of mycelium based bio-composites. Scientific Reports, 16(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-30954-x, 2026

[31] Akintunde, A. E., O'Flaherty, F., & Ojedokun, O., A review of mycelium-based composites as a high fire-rated construction material. Key Engineering Materials, 1046, 75-81, 2026

[32] Kolya, H., et al., Sustainable flame-retardant composite coating for wood using biochar, kaolin, polyvinyl acetate, and trimethylsilyl polyphosphate. Progress in Organic Coatings, 110124, 2026

[33] Arpacı Coşkun, G. S. ve Serteser, N., Biyobazlı yalıtım malzemelerinde yangın emniyeti ve sürdürülebilirlik [Bildiri sunumu]. 5. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 7-8 Mayıs, İstanbul, Türkiye, 2026

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Ezgi KORKMAZ

2002 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2005 yılında İTÜ Deprem Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansını, 2012 yılında YTÜ Mimarlık, Yapı Programında Doktorasını tamamlamıştır. 2007-2017 yılları arasında YTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde araştırma görevlisi olarak, 2017-2023 yılları arasında Dr. Öğr. Üyesi, 2023 yılından itibaren de Doç. Dr. unvanı ile çalışmaktadır. Yangın güvenliği, yapı teknolojileri, yenilikçi yapı malzemeleri ve malzeme teknolojileri konularında çalışmalar yürütmekte ve TÜYAK Yangın Mühendisliği Yangın Güvenliği ve Teknolojileri Dergisinde yayın kurulunda yer almaktadır. Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı Lisansüstü Programının koordinatörlük görevini sürdüren Korkmaz, yükseköğretim kurumları ve TÜBİTAK tarafından desteklenen çeşitli araştırma projelerinde yürütücü ve araştırmacı olarak görev almaktadır.

Seda SERBEST YENİDÜNYA

2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında İTÜ Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programında yüksek lisansını, 2021 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Programında doktorasını tamamladı. Sürdürülebilir tasarım, enerji etkinliği, yenilikçi malzemeler konularında çalışmalar yapmaktadır. YTÜ Mimarlık Bölümünde doktor öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Hande APAK

2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünden mezun oldu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde 2014 yılında yüksek lisans, 2022 yılında doktora öğrenimini tamamladı. 2024 yılında İstanbul Gelişim Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak göreve başladı. Yapı bilgisi, yapı elemanları, yapı malzemeleri ve fiziksel çevre denetimi alanlarında çalışmalarını sürdüren Apak; iç mekân hava kalitesi, risk yönetimi, termal ve görsel konfor ve sürdürülebilir yapı tasarımı konularında araştırmalar yürütmektedir. Ulusal ve uluslararası yayınları bulunan Apak, yükseköğretim kurumları ve TÜBİTAK tarafından desteklenen çeşitli araştırma projelerinde yürütücü, araştırmacı ve akademik danışman olarak görev almaktadır.

Büşra DEMİRCAN İBİŞ

1995 yılında Erzurum'da doğdu. 2018 yılında Çankaya Üniversitesi Mimarlık Bölümünden mezun oldu. 2020 yılında Atatürk Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2022 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2023 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Anabilim Dalında başladığı doktora eğitimine devam etmekte olup, 2547 sayılı Kanun'un 35. maddesi kapsamında geçici görevlendirme ile araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Araştırmaları biyomalzemeler, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve sürdürülebilir yapı malzemeleri üzerine yoğunlaşmakta; bu alanda üretim süreçleri ve çevresel performansa yönelik çalışmalar yürütmektedir.

Z. Gülşah KOÇ

2009 yılında Maltepe Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden mezun olmuş, yüksek lisans ve doktorasını (2025) Yıldız Teknik Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Akademik kariyeri öncesinde ve sırasında, çeşitli mimarlık ofislerinde mimar olarak çalışmıştır. Temel araştırma alanları; ekolojik tasarım, sürdürülebilirlik, yeniden kullanılabilir yapı malzemeleri, biyomalzemeler, biyomalzemelerin (alg, bakteri, miselyum) mimarlıkta kullanımı üzerine odaklanmaktadır. Bu uzmanlık alanlarında kaleme aldığı akademik makalelerin yanı sıra, uluslararası düzeyde yayımlanmış kitaplarda editörlük çalışmaları da bulunmaktadır.

Raşit Eren CANGÜR

2020 yılında Işık Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programında 2021-2024 yılları arasında tamamlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalında başladığı doktora eğitimine devam etmektedir. 2022 yılında YTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Mimarlıkta makine öğrenmesi, bilgisayarda öğrenme ve örüntü tanıma, mimari tasarım konularında çalışmaları bulunmaktadır.

Gökçe TUNA

1975 yılında Ankara'da doğmuştur. 1995 yılında YTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olmuştur. Yüksek lisansını 1998 yılında, doktorasını ise 2005 yılında tamamlamıştır. 1996 yılında YTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Yapı Bilimi Anabilim Dalı'nda çalışmaya başlamıştır. Lisans ve lisansüstü eğitimde dersler vermekte, yüksek lisans ve doktora tezleri yönetmekte, araştırmacı ve yürütücü olarak araştırma projelerinde görev almakta, akademik ve idari komisyonlarda ve jürilerde yer almaktadır. Sürdürülebilir ve döngüsel tasarım, yapı ürünleri ve malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi, yapı biyolojisi konularında çalışmaları bulunmaktadır.

Nabi YÜZER

1989 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1991 yılında Yıldız Üniversitesine Araştırma Görevlisi olarak girdi. 1992 yılında YTÜ FBE Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı, 1998 yılında doktora derecesi aldı. Y.T.Ü. İnşaat Fakültesinde 2000 yılında Yrd. Doçent, 2005 yılında Doçent, 2011 yılında Profesör oldu. Betonun dürabilitesi ve tarihi yapılarda malzeme özellikleri konularında çalışmakta olan Yüzer, Bölüm Başkan Yardımcılığı, FBE Müdür Yardımcılığı, Dekan Yardımcılığı idari görevlerinde bulunmuştur. İki adet kitabın yazarı, 3 adet ulusal ve 4 adet uluslararası patent tescili olup, Yapı Malzemeleri Yüksek Lisans ve Doktora Programlarının yürütücülüğü görevlerini sürdürmektedir.

Cem Bülent ÜSTÜNDAĞ

Dr. Üstündağ, Yıldız Teknik Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü profesörüdür. 1999'da Dumlupınar Üniversitesi'nden Seramik Mühendisliği lisans, 2003'te Gebze Teknik Üniversitesi'nden Malzeme Bilimi yüksek lisans, 2011'de YTÜ ve 2013'te Tohoku Üniversitesi'nden (Japonya) Biyomalzemeler alanında doktora derecesi almıştır. 2011'de yardımcı doçent, 2017'de doçent, 2023'te profesör olmuştur. 2014-2015 yılları arasında Princeton'da misafir araştırmacı, 2022-2024'te SABIOTEK müdürü olarak görev yapmıştır. Araştırma alanları biyomalzemeler, nanomalzemeler, grafen, doku mühendisliği ve 3D baskıdır. 73'ten fazla makale, 16 derleme, 7 patent ile birçok ödül ve proje desteğine sahiptir. Ayrıca TÜBİTAK, TÜSEB, HORIZON ve Erasmus destekli birçok projede yürütmektedir.

Muhammed MARAŞLI

1967 yılında Ordu'da doğdu. İTÜ Uçak Mühendisliği lisans mezunudur. 1989'dan bu yana ortağı ve Yönetim Kurulu Başkan Vekili olduğu Fibrobeton A.Ş.'de cam elyaf takviyeli beton, mimari cephe sistemleri, üretim, montaj, Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarını yürütmektedir. Üniversite-sanayi iş birliklerini koordine etmekte; ileri beton teknolojileri, lifli betonlar ve özel betonlar alanlarında lisansüstü dersler vermektedir. Türkiye İMSAD, Türkiye Deprem Vakfı ve BuildingSMART Türkiye'de aktif görevler üstlenmektedir. Kompozit Malzeme Teknolojileri yüksek lisans derecesine sahip olup 100'ün üzerinde ulusal ve uluslararası bilimsel yayına ve dört kitap bölümüne ortak yazar olarak katkı sağlamıştır.

Fluorine-Free Foam Transition in Sprinkler Systems: A Challenging Change or Simply a Matter of Getting It Right?

Gerard Visser

Abstract:

A Guide to the Fluorine-Free Foam Transition

The transition from PFAS-based firefighting foams to fluorine-free alternatives represents a fundamental transformation of the fire protection industry. As fluorine-free foam technologies mature and regulatory pressure increases, particularly with forthcoming PFAS restrictions across Europe, organisations must move beyond the concept of simply replacing one foam concentrate with another.

This presentation examines the practical realities of transitioning to non-fluorinated firefighting foams and highlights why successful implementation requires a comprehensive evaluation of the entire fire protection system. Drawing upon extensive experience from petrochemical, tank storage, aviation, and industrial applications, the session explores the critical relationship between foam properties, system design, proportioning accuracy, discharge hardware, application techniques, and firefighting performance.

Particular attention is given to the EVA principle (Expansion, Viscosity, and Application Rate) as a framework for understanding fluorine-free foam behaviour and performance limitations. The presentation also reviews common challenges encountered during retrofit projects, including compatibility considerations, storage and changeover requirements, system performance validation, and maintaining fire safety throughout the transition process.

Using real-world project experience, large-scale test data, and evolving international standards, attendees will gain practical guidance for evaluating fluorine-free foam solutions beyond approval certificates alone. The session provides a structured approach to achieving compliant, cost-effective, and future-ready foam system transitions while maintaining operational integrity and fire protection performance.

The key message is clear: the transition to fluorine-free foam is not a product replacement exercise but a system-wide transformation that requires technical understanding, regulatory awareness, and performance-based decision-making.

Keywords: Fluorine-Free Foam (F3), Non-Fluorinated Firefighting Foam, Fire Protection Systems, Foam System Retrofit, Fire Suppression Performance, EVA Principle, PFAS Legislation, System Design, Foam Performance Testing, Standards and Best Practices, Fluorine-Free Foam Transition, Future-Proof Fire Safety Systems

Introduction

The transition from fluorinated to non-fluorinated foam is no longer a future consideration; it is already underway, largely driven by legislation.

In October 2025, the European Chemicals Agency (ECHA) restriction process resulted in new European legislation under REACH governing PFAS in firefighting foams. This requires that by October 2026 all sites must have identified and clearly labelled any PFAS-containing foam stocks, together with a documented management and transition plan. By October 2030, the majority of foam-based sprinkler systems will need to be converted to fluorine-free alternatives unless they fall under Seveso

The question, therefore, is no longer *if* a transition is required, but *how* it should be implemented.

Understanding Non-Fluorinated Foam (NFF)

Non-fluorinated foams (NFFF, SFFF or F3) do not contain intentionally added PFAS, whilst still providing effective fire suppression. However, their behavior differs fundamentally from that of AFFF.

This leads to three critical parameters that determine a successful transition:

EVA – Expansion, Viscosity, Application Density

These three parameters are closely interrelated and collectively determine whether a fluorine-free foam will perform effectively in a sprinkler system. In practice, EVA should not be considered as three separate checks, but as a single, balanced exercise. Any deviation in one parameter will immediately influence the others—and ultimately the firefighting performance.

What Is Different with Non-Fluorinated Foam

Expansion
Non-fluorinated foam (NFF or F3) operates differently from AFFF. The key distinction is straightforward: there is no film formation.

Where AFFF spreads across the fuel surface by forming a film, NFF relies entirely on creating and maintaining a foam blanket. As the foam solution is predominantly water-based, most fluorine-free foams do not naturally float on hydrocarbons. Consequently, effective fire control depends on achieving a sufficiently stable and continuous foam layer.

This is where expansion becomes critical. For fluorine-free foams, expansion is not merely a desirable characteristic—it is a fundamental performance parameter. Either a highly stable bubble structure is required to remain on the fuel surface, or increased air aspiration (and therefore higher expansion) is needed to build a sufficiently thick foam blanket.

In practice, it is often a combination of both. The challenge lies in the fact that most existing sprinkler systems are low-expansion or non-aspirating. If a foam requires higher expansion but the system cannot deliver it, the foam will not perform as intended.

For this reason, our fluorine-free foams have been specifically developed to operate at relatively low expansion ratios, typically between 3:1 and 3.4:1. This makes them suitable for use with non-aspirated discharge devices such as sprinklers, which is essential for retrofit applications.

Viscosity
The second element of EVA is viscosity—often underestimated in practice. Many fluorine-free foams are more viscous than AFFF or AR-AFFF and may exhibit non-Newtonian behaviour. This has a direct impact on proportioning and mixing.

The critical requirement is achieving a homogeneous mixture. If the foam concentrate is not properly mixed with water, the resulting foam solution will be inconsistent. This in turn affects bubble formation, expansion, foam stability and ultimately extinguishing performance.

To address this, the viscosity of our products has been engineered to be comparable to that of legacy AR-AFFF concentrates. As a result, from a proportioning and mixing perspective, they behave in a familiar manner and do not introduce additional system complexity.

Application Density

The third component of EVA is application density. Ultimately, performance on the fire is the deciding factor. Many fluorine-free foams currently available require higher application densities than traditional AFFF.

This presents a significant challenge. Higher densities require increased water flow, larger pipework, more powerful pumps and greater foam storage capacity. Whilst this can be accommodated in new installations, it is often impractical for existing systems.

Our fluorine-free portfolio has therefore been developed to remain as close as possible to the application densities associated with AFFF and AR-AFFF, particularly for hydrocarbons and a wide range of chemical fuels. In most cases, this is achievable. However, certain challenging fuels—such as MEK—still require higher application densities. This is not specific to one product, but rather a general limitation of fluorine-free foam technology.

This reinforces the importance of EVA: expansion, viscosity and application density must be considered together. Achieving the correct balance is essential for effective system performance.

Standards Are Evolving

Standards are now beginning to reflect this reality.

The revised EN 1568 will introduce an expansion sensitivity test, along with additional requirements concerning the solubility of foam concentrates in water. This directly addresses the need for a homogeneous solution and consistent foam quality.

At the same time, EN 13565-2 is strengthening the relationship between foam concentrate and discharge hardware. Compatibility can no longer be assumed—it must be demonstrated, for example through UL, FM or VdS approvals.

NFPA 11 and NFPA 409 are also being updated to accommodate high-performance fluorine-free foams and to reflect their different extinguishing mechanisms.

The direction is clear: foam performance can no longer be considered independently of the system.

Making the Transition Work in Practice

The transition becomes manageable when the system is considered as a whole and the appropriate foam is selected for the specific application.

Our NFF-331 3x3 has been developed with this principle in mind, aiming to enable fluorine-free performance in existing sprinkler systems without major modifications or increased application densities.

Both our NFF-331 3x3 and NFF 3H are tested within the film-forming category. This corresponds to a test application rate of 1.6 L/min/m², resulting in a design application density of 4.1 L/min/m² for direct application on hydrocarbons. This is a significant advantage, as it allows these products to be applied within the same hydraulic design framework as conventional AFFF systems.

To support practical implementation, NFF-331 3x3 listings have been extended to include sprinkler types from all mayor sprinkler manufacturers, providing proven compatibility between foam and discharge

hardware.

For hydrocarbon-specific applications, NFF-3H offers a dedicated solution. This product is UL listed for sprinkler use and has been validated under extended test conditions.

Standard UL 162 sprinkler tests are typically conducted at a height of 4.5 meters. In this case, testing was extended to 11.3 meters—much closer to real-world industrial scenarios—while maintaining the same test application rate of 4.1 L/min/m², resulting in a design density of 6.5 L/min/m².

Furthermore, testing was not limited to heptane but also included Jet A-1 and hexane. This provides a more representative understanding of performance across a broader range of hydrocarbon fuels.

For FM-driven projects, NFF-332 provides a fully approved solution, with system approvals covering components such as bladder tanks, proportioners and discharge devices, including a wide range of our sprinklers (both pendant and upright), as well as K240 heads commonly used in the UK. This enables a fully integrated system approach without the need for additional validation.

Conclusion

The transition to fluorine-free foam in sprinkler systems is often perceived as complex and high risk.

In reality, it is largely a matter of understanding the differences and making informed decisions. If approached as a simple product replacement, difficulties are likely to arise. If treated as a system-level consideration, the transition can be successfully achieved.

The technology is available. The standards are evolving. The timeline is defined.

The focus now must be on correct application.

CURRICULUM VITAE

Gerard Visser is the Global Business Development Director of Johnson Controls for Foam & Foam Hardware Products . He has 28 years of experience in Fire Fighting Foam and systems workinf for JCI /Tyco . He started his career at Svenska SKUM as a Project Engineer .He has worked at the company as Sales Manager, Head of Sales and Sales Director over the years . He is the member of EN1568 and EN13565 CEN Expert committee , Dutch Foam Working group, FVN– PFAS focus, JOIFF Supporting member and PGS14 working group. Gerard contributes to these organization on the new technology of the fire fighting foam agents and hardware. He is based in Rotterdam.

PFAS İÇEREN YANGIN SÖNDÜRME KÖPÜKLERİNDEN YENİ NESİL FLOR İÇERMEYEN KÖPÜKLERE GEÇİŞ NASIL OLMALI?

Dursun Kuzey Şahin

ÖZET

PFAS içeren AFFF, AR-AFFF, FP ve FFFP gibi yangın söndürme köpükleri, özellikle B sınıfı yanıcı sıvı yangınlarında yüksek performansları nedeniyle uzun yıllardır havaalanları, rafineriler, petrokimya tesisleri ve yakıt terminallerinde kullanılmaktadır. Ancak PFAS'ların çevrede kalıcı olması ve bazı türlerinin insan sağlığı ve ekosistemler açısından risk oluşturması, Avrupa'da kullanımının aşamalı olarak sınırlandırılmasına yol açmıştır.

AB'de REACH kapsamında getirilen kısıtlamalar doğrultusunda genel kullanım için 23 Ekim 2030, belirli yüksek riskli tesisler için ise koşullara bağlı olarak 23 Ekim 2035 tarihi önem taşımaktadır. Bu tarihler beklenmesi gereken son tarihler değil, tesislerin dönüşüm planlarını oluşturması gereken hedefler olarak değerlendirilmelidir.

PFAS'tan F3'e geçiş yalnızca köpük konsantresinin değiştirilmesi değildir. Öncelikle mevcut köpüğün ve PFAS içeriğinin belirlenmesi, stokların ve atıkların mevzuata uygun yönetilmesi, sistem bileşenlerinin dekontamine edilmesi ve gerekli PFAS analizlerinin yapılması gerekir. Ardından yangın performansı doğrulanmış, gerçekten flor içermeyen F3 köpük seçilmeli; oranlama, pompalar, borular, vanalar, contalar ve diğer ekipmanların uyumluluğu kontrol edilmelidir. Son aşamada debi, basınç, oranlama ve fonksiyon testleriyle sistem performansı doğrulanmalıdır.

Türkiye'deki tesisler açısından önerilen yaklaşım; 2026'da envanter ve mevcut durum analizi, 2027–2030'da F3 değerlendirmeleri ve pilot uygulamalar, 2030–2033'te ana sistemlerin dönüşümü ve 2033–2035'te kalan sistemlerin tamamlanmasıdır.

Bu dönüşüm, çevresel sorumluluk ve mevzuat uyumunun yanı sıra yangın güvenliğinin sürekliliğini sağlayan kapsamlı bir mühendislik süreci olarak ele alınmalıdır.

Anahtar sözcükler: PFAS, AFFF, AR-AFFF, F3, flor içermeyen köpük, yangın söndürme köpüğü, REACH, POPs, dekontaminasyon, çevresel risk, Seveso

HOW SHOULD THE TRANSITION BE FROM FIRE SUPPRESSION FOAM AGENTS WITH PFAS TO THE NEW GENERATION FLORINE-FREE FOAMS?

ABSTRACT

PFAS-containing firefighting foams such as AFFF, AR-AFFF, FP, and FFFP have been widely used for many years, particularly for Class B flammable liquid fires, due to their high performance. They have been extensively applied at airports, refineries, petrochemical facilities, fuel terminals, and other high-risk industrial facilities. However, the environmental persistence of PFAS and the potential risks associated with certain PFAS substances to human health and ecosystems have led to the progressive restriction of their use in Europe.

Under the restrictions introduced within the EU under REACH, 23 October 2030 is a key date for general applications, while 23 October 2035 applies, subject to specific conditions, to certain high-risk facilities. These dates should not be regarded as deadlines until which facilities can simply wait; rather, they should be considered target dates around which transition plans should be developed.

The transition from PFAS to F3 is not simply a matter of replacing the foam concentrate. First, the existing foam and its PFAS content must be identified, existing stocks and waste must be managed in accordance with applicable regulations, and system components must be properly decontaminated, with PFAS analyses performed where necessary. A verified, genuinely fluorine-free F3 foam should then be selected, and the compatibility of proportioning equipment, pumps, piping, valves, seals, and other components should be assessed. Finally, system performance must be verified through flow, pressure, proportioning, and functional testing.

For facilities in Türkiye, the recommended approach is inventory and current-condition assessment in 2026, F3 evaluations and pilot applications during 2027–2030, conversion of the main systems during 2030–2033, and completion of the remaining systems during 2033–2035.

This transition should be regarded not only as a matter of environmental responsibility and regulatory compliance, but also as a comprehensive engineering process aimed at maintaining continuity of fire protection performance.

Keywords: PFAS, AFFF, AR-AFFF, F3, fluorine-free foam, firefighting foam, REACH, POPs, decontamination, environmental risk, Seveso

GİRİŞ

Özellikle PFAS veya Flor içeren köpüklerin çevresel etkileri ve kullanımdan çıkarılmaları ile ilgili öncelikle uyum yükümlülüğümüzü de dikkate alarak Avrupa Mevzuatı açısından değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen detaylar, prosedürler ve yaklaşımların tamamı ülkemiz şartlarında tavsiye niteliği taşımaktadır.

PFAS Nedir ve Neden Düzenleyici İnceleme Altındadır?

PFAS, per- ve polifloroalkil maddeleri ifade eden geniş bir kimyasal madde grubudur. Bu maddeler, son derece kararlı karbon-flor (C–F) bağlarına ve kendilerine özgü fizikokimyasal özelliklere sahiptir. Bu özellikler PFAS'ları yüksek çok yönlülük, dayanıklılık, güç ve esneklik gerektiren birçok ürün açısından değerli hale getirmiştir. PFAS'ların kullanım alanları yalnızca yangın söndürme köpükleriyle sınırlı olmayıp endüstriyel, profesyonel ve tüketici ürünlerinde de çeşitli işlevler içermektedir.

Bununla birlikte PFAS'ların yüksek kimyasal kararlılığı, aynı zamanda çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle PFAS grubu giderek daha kapsamlı bir düzenleyici incelemeye tabi tutulmaktadır.

"PFAS'ın kapsamına ilişkin tüm uluslararası düzenlemelerde zorunlu olarak kullanılan tek ve evrensel bir tanım bulunmamaktadır. Bununla birlikte OECD'nin 2021 yılında yayımladığı yapısal tanım, PFAS sınıfının tanımlanmasında geniş ölçüde benimsenen referanslardan biri haline gelmiştir."

OECD'nin 2021 PFAS tanımı

OECD'nin 2021 tarihli çalışmasında PFAS için revize edilen genel tanım şöyledir; "**En az bir tamamen florlanmış metil veya metilen karbon atomu içeren florlu maddeler PFAS olarak tanımlanır.** Bu karbon atomuna H, Cl, Br veya I atomu bağlı değildir. Başka bir ifadeyle, birkaç istisna dışında en az bir **$-CF_3$** veya **$-CF_2-$** grubu içeren kimyasallar PFAS kapsamındadır."

Yangın Söndürme Köpüklerinde PFAS'ın Kullanımı

PFAS içeren veya florlu yüzey aktif maddeler kullanan yangın söndürme köpükleri özellikle B sınıfı yangınların söndürülmesinde kullanılmaktadır. Bunlar; yağ, benzin, hidrokarbonlar, alkoller, aseton ve benzeri yanıcı sıvıların oluşturduğu yangınları kapsamaktadır.

B sınıfı köpükleri iki ana gruba ayırmaktadır:

İlk grupta sentetik köpükler yer almakta olup bu grupta:

1. AFFF – Su ile film yapıcı sentetik köpük
2. AR-AFFF – Alkole dayanıklı su ile film yapıcı sentetik köpük

yer almaktadır.

İkinci grupta ise Protein bazlı köpükler yer almaktadır. Bunlar;

1. FP – Floroprotein köpük
2. FFFP – Film oluşturan floroprotein köpük
3. AR-FP – Alkole dayanıklı floroprotein köpük
4. AR-FFFP – Alkole dayanıklı film oluşturan floroprotein köpük

sayılabilir.

Bu köpükler özellikle havaalanları ve endüstriyel tesisler gibi yüksek riskli alanlarda, yakıt yangınlarına karşı yaygın şekilde kullanılmıştır. Temel amaç, yakıtın yüzeyinde bir köpük tabakası oluşturarak yangını kontrol altına almaktır. Bu köpük tabakası; alevlerin bastırılması, yanıcı buharların kontrol edilmesi, yakıtın soğutulması ve kıvılcımların yeniden tutuşmaya neden olmasının önlenmesi gibi işlevler üstlenmektedir.

PFAS'ın Köpük İçerisindeki Temel İşlevi

PFAS'ın yangın söndürme köpüğündeki temel işlevlerinden biri, yakıt ile köpük tabakası arasında ince bir sulu film oluşturmak ve bu filmin yanan sıvının yüzeyine hızlı şekilde yayılmasını sağlamaktır. Bu film sayesinde:

a) Yakıt kaynağı ile yangın arasındaki etkileşim azaltılır,

b) Yanıcı buharlar bastırılır,

c) Alevlerin söndürülmesine katkı sağlanır,

d) Yakıt soğutulur,

e) Yeniden tutuşma riski azaltılır.

PFAS'ın bir diğer önemli özelliği, köpüğün stabilitesine katkıda bulunmasıdır. Bu stabilite, köpüğün ısıya ve yakıt kontaminasyonuna karşı dayanıklı olmasına yardımcı olur. Böylece köpüğün belirli bir süre boyunca etkinliğini koruması ve yeniden tutuşma riskinin azaltılması hedeflenir.

PFAS ile ilgili endişe nedir?

PFAS'ların önemli bir bölümü yüksek çevresel kalıcılık, bozunmaya karşı direnç ve hareketlilik özellikleri gösterir. Bazı PFAS'lar insanlarda, hayvanlarda ve çevrede birikebilir; bu özellikleri nedeniyle kutuplar gibi uzak ve izole bölgeler dahil olmak üzere çok çeşitli çevresel ortamlarda tespit edilmektedir.

Bazı PFAS'lara maruziyetin insan sağlığı açısından kolesterol düzeylerinde artış, bebek doğum ağırlığında değişiklikler, bağışıklık sistemi üzerinde etkiler, bazı kanser türlerinde risk artışı ve tiroid fonksiyonlarında bozulma ile ilişkili olduğuna dair bilimsel kanıtlar bulunmaktadır.

Bununla birlikte, PFAS grubu çok geniş olduğundan, sağlık etkileri ayrıntılı olarak incelenmiş PFAS sayısı toplam PFAS sayısına göre halen sınırlıdır. Bu nedenle mevcut bulgular, tüm PFAS'ların aynı toksikolojik özelliklere sahip olduğu şeklinde genellenmemelidir.

PFAS İçeren Köpüklerden Flor İçermeyen Alternatiflere Geçiş

PFAS'ların yüksek kararlılığı ve çevresel kalıcılığı, toprak, su kaynakları ve gıda zincirinde uzun süreli kirlenme riski oluşturabilmektedir. Bu nedenle düzenleyici yaklaşımlar ve sektör uygulamaları, PFAS içeren köpüklerden flor içermeyen (F3) alternatiflere geçişi giderek daha fazla teşvik etmektedir.

Ancak bu geçişte yalnızca çevresel etkiler değil; yangın söndürme performansı, güvenilirlik, mevcut sistemlerle uyumluluk ve işletme koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Bu nedenle PFAS bazlı köpüklerin değiştirilmesi, kontrollü ve teknik olarak doğrulanmış bir geçiş süreci olarak ele alınmalıdır.

PFAS İçeren Yangın Söndürme Köpüklerinin İmhası

PFAS içeren florlu yangın söndürme köpükleri (FFF) ve bunlarla ilişkili malzemeler; köpük konsantreleri, ön karışımlar, yangın söndürme suyu, sistem yıkama suları, kirlenmiş ekipman ve diğer kalıntılar atık haline geldiğinde, yürürlükteki atık mevzuatına uygun olarak tanımlanmalı, sınıflandırılmalı, etiketlenmeli, taşınmalı ve uygun yöntemlerle bertaraf edilmelidir.

Atığın doğru sınıflandırılması; malzemenin tehlikeli atık, POP içeren atık veya tehlikesiz atık olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğinin ve uygulanacak atık kodunun belirlenmesi açısından temel öneme sahiptir. Bir atık tehlikesiz olarak sınıflandırılsa bile POP içeriği varsa özel yönetim ve bertaraf hükümlerine tabidir. Yanlış sınıflandırma; uygunsuz bertarafa, mevzuata aykırılığa ve çevre ile insan sağlığı açısından risklere neden olabilir. PFAS içeren akışkanlar veya atıklar;

a) PFAS içeren yangın söndürme köpüğü konsantresi ve ön karışım,

b) PFAS içeren yangın söndürme atık suyu,

c) Ekipman ve kişisel koruyucu ekipmanların temizlenmesinden kaynaklanan PFAS içeren sular,

d) PFAS ile kirlenmiş yangın söndürme sistemi bileşenleri,

e) PFAS ile kirlenmiş toprak,

f) PFAS ile kirlenmiş kişisel koruyucu ekipman ve diğer ekipmanlar.

şeklinde atığın tanımlanması ve sınıflandırılması yapılabilir ancak atık yönetimi genel olarak üç temel aşamada ele alınabilir.

a) Atığın tanımlanması ve sınıflandırılması,

b) Atığın uygun şekilde tanımlanması, etiketlenmesi ve kayıt altına alınması,

c) Atık türüne ve geçerli mevzuata uygun bertaraf veya arıtma yönteminin belirlenmesi.

Bu yaklaşım, PFAS içeren eski köpüklerin sistemden çıkarılması ve flor içermeyen köpüklere geçiş sürecinin de temelini oluşturabilir.

PFAS İçeren Atıkları Tanımlanması ve Sınıflandırılması

PFAS içeren malzemelerin doğru şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması, mevzuata uygun atık yönetiminin ilk aşamasıdır. Atığın bileşimi, PFAS içeriği, konsantrasyonu, kullanım şekli ve fiziksel durumu dikkate alınarak aşağıdaki kategorilerden biri veya birkaçı kapsamında değerlendirme yapılabilir.

- Tehlikesiz atık,
- Tehlikeli atık,
- POP içeren atık.

Atığın yanlış sınıflandırılması;

- Uygunsuz bertarafa,
- Mevzuata uyumsuzluğa,
- Çevresel kirlenmeye,
- Çalışanların ve üçüncü kişilerin maruziyetine

neden olabilir. Bu nedenle sınıflandırma işlemi yalnızca köpük ürününün ticari adı veya üretici beyanı üzerinden değil, mümkün olduğunda ürün bileşimi, PFAS analizi ve ilgili mevzuat hükümleri esas alınarak yapılmalıdır.

Atık veya Atık Su

PFAS içeren bir sıvının atık su olarak değerlendirilebilmesi için öncelikle sıvının bileşimi ve içerdiği PFAS maddelerinin konsantrasyonları belirlenmelidir. Normal koşullarda bir sıvının atık su olarak değerlendirilebilmesi için;

a. POP içeren atık kapsamında bulunmaması,

b. Kanalizasyon veya yetkili bir atık su arıtma tesisine deşarjının öngörülmesi,

c. İlgili arıtma tesisi işletmecisinin atığı kabul ettiğini teyit etmesi,

d. PFAS konsantrasyonlarının geçerli deşarj limitlerini karşılaması ve

e. Arıtma tesisinin söz konusu atık suyu kabul etmeye yasal olarak yetkili olması

gibi koşullar değerlendirilmelidir. Ancak PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinin kullanımı ve bu sistemlerin temizlenmesi sonucunda oluşan sular açısından daha sıkı gereklilikler söz konusu olabilir.

REACH yaklaşımına göre, PFAS içeriği ≥ 1 mg/L olan yangın söndürme köpüklerinin kullanımından kay-

naklanan atık sular ayrı olarak toplanmalı ve PFAS'ın yok edilmesini veya geri dönüşümsüz olarak dönüştürülmesini sağlayan yöntemlerle işlenmelidir. Bu nedenle bu tür suların belediye kanalizasyon sistemine doğrudan deşarj edilmesi uygun değildir.

Kullanılmamış PFAS içeren köpükler, köpük konsantreleri ve bunların kullanımından kaynaklanan atıklar da mümkün olduğunca ayrı toplanmalı ve uygun bertaraf/arıtma tesislerine gönderilmelidir.

Atıkların Tehlikeli Atık Olarak Sınıflandırılması

PFAS içeren atığın öncelikle tehlikeli atık kriterlerini karşılayıp karşılamadığı değerlendirilmelidir.

Bu değerlendirme yalnızca PFAS maddelerini değil, atık içerisinde bulunabilecek diğer tehlikeli maddeleri ve kirleticileri de kapsamalıdır.

Tehlikeli özelliklerin değerlendirilmesinde;

a. İlgili tehlikeli özellikler,
b. Atığın bileşimi,
c. PFAS maddelerinin özellikleri,
d. Konsantrasyonları,
e. Diğer tehlikeli bileşenler

birlikte değerlendirilmelidir.

PFAS içeren bir atık, ilgili tehlikeli özelliklerden bir veya daha fazlasını gösteriyorsa tehlikeli atık olarak sınıflandırılmalıdır.

PFAS'ın kendisi açısından kesin bir sınıflandırma bulunmadığı durumlarda mevcut toksikolojik veriler, ürün bilgileri, laboratuvar analizleri ve ulusal kılavuzlar dikkate alınmalıdır.

Sınıflandırma konusunda belirsizlik bulunması halinde ihtiyatlı yaklaşım benimsenmeli ve atığın yetkili makam veya lisanslı atık yönetim kuruluşu tarafından değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

Atıkların Kalıcı Organik Kirleticiler İçeren Atık Olarak Değerlendirilmesi

PFAS içeren atıkların ayrıca POP mevzuatı kapsamında değerlendirilmesi gerekir. Atığın tehlikeli atık olarak sınıflandırılması ile POP içeren atık olarak değerlendirilmesi birbirinden bağımsız değerlendirmelerdir. Bir atık aynı anda hem tehlikeli atık hem de POP içeren atık niteliğinde olabilir. PFAS konsantrasyonları belirlendikten sonra, ilgili POP konsantrasyon limitleriyle karşılaştırılmalıdır.

Konsantrasyonların ilgili sınırları aşması halinde, atığın POP mevzuatında belirtilen özel yönetim ve bertaraf hükümlerine tabi olması gerekir. AB regülasyonlarında verilen konsantrasyon değerleri aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

POP	Konsantrasyon limiti
PFOA ve tuzları	1 mg/kg
PFOA ile ilgili bileşiklerin toplamı	40 mg/kg
PFHxS ve tuzları	1 mg/kg
PFHxS ile ilgili bileşiklerin toplamı	40 mg/kg
PFOS ve türevleri	50 mg/kg

Bu değerler oldukça düşük konsantrasyonları ifade etmektedir. Örneğin 1 mg/kg, %0,0001'e karşılık gelir. Bu nedenle eski yangın söndürme köpüklerinin yalnızca ticari ürün bilgilerine bakılarak tehlikesiz veya temiz kabul edilmemesi gerekir. Özellikle eski stokların PFOS, PFOA veya PFHxS içerebilme ihtimali dikkate alınmalıdır.

Atık Kodunun Belirlenmesi

Atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten ve tehlikelilik değerlendirmesi yapıldıktan sonra uygun atık kodu belirlenmelidir.

PFAS içeren yangın söndürme köpükleri bazı durumlarda tehlikeli ve tehlikesiz versiyonları bulunan atıklar kapsamında değerlendirilebilir. Atık kodunun belirlenmesinde;

a. Atığın kaynağı,
b. Atığın fiziksel ve kimyasal yapısı,
c. Tehlikeli özellikleri,
d. PFAS içeriği,
e. İlgili ulusal mevzuat,
f. Atık kabul tesisinin kabul kriterleri

dikkate alınmalıdır. Belirsizlik halinde yetkili atık makamlarına ve lisanslı bertaraf tesislerine danışılmalı ve seçilen atık kodunun gerekçesi kayıt altına alınmalıdır.

Atık Kodunun Belirlenmesi için Özet – Önerilen Adımlar

a. Atığın kaynağını ve bileşimini belirleyin.
b. Atığın fiziksel durumunu ve PFAS içeriğini belirleyin.
c. Uygun atık kodunu belirleyin.
d. Tehlikeli atık kriterlerini değerlendirin.
e. POP mevzuatı kapsamında gerekli değerlendirmeyi yapın.
f. Gerekli durumlarda laboratuvar analizi gerçekleştirin.
g. Atık kodunun seçim gerekçesini belgeleyin.
h. Atığı yalnızca bu tür atıkları kabul etmeye yetkili tesislere gönderin.
i. Tüm analiz, taşıma ve bertaraf kayıtlarını saklayın.

Atıkların Doğru Etiketlenmesini ve Tanımlanmasını Sağlayın

PFAS içeren atıkların bertaraf veya işleme tesisine gönderilmesinden önce uygun şekilde tanımlanması ve etiketlenmesi gerekir. İlgili belgelerde en az aşağıdaki bilgiler bulunması tavsiye edilmektedir;

a. Atığın adı ve kaynağı,
b. İçerdiği PFAS maddeleri,
c. Atık kodu,
d. Tehlikeli atık olup olmadığı,
e. POP içeren atık olup olmadığı,
f. Ölçülmüş PFAS konsantrasyonları,
g. Atığın fiziksel durumu,
h. Atığın miktarı,
i. Gerekli taşıma ve depolama bilgileri.

Tehlikeli atıklar toplama, taşıma ve geçici depolama sırasında ilgili mevzuata uygun şekilde ambalajlanmalı, etiketlenmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Sınır ötesi taşımalarda ayrıca ilgili atık sevkiyatı mevzuatı, bildirim

ve onay prosedürleri ile izlenebilirlik şartları dikkate alınmalıdır. Doğru tanımlama ve kayıt, atığın uygun tesise yönlendirilmesini sağlarken çevresel zarar, mevzuata aykırılık ve çalışan maruziyeti risklerini azaltır.

Tehlikeli Atıkların Bertarafı

PFAS içeren bir malzeme tehlikeli atık kriterlerini karşılıyorsa, yalnızca bu tür atıkları kabul etmeye yetkili lisanslı tesislerde işlenmeli veya bertaraf edilmelidir. Tehlikeli PFAS içeren atıklar;

a. Doğru şekilde sınıflandırılmalı,
b. Uygun atık kodu ile tanımlanmalı,
c. Etiketlenmeli,
d. Güvenli şekilde depolanmalı,
e. Uygun taşıma koşullarında taşınmalı ve
f. Yetkili tesise teslim edilmelidir.

Atığın miktarı, niteliği, kaynağı, varış yeri, taşıma şekli ve işlem yöntemiyle ilgili kayıtlar tutulmalıdır. Tehlikeli atıkların farklı atıklarla karıştırılması, yalnızca ilgili mevzuatta öngörülen koşulların tamamının sağlanması halinde gerçekleştirilebilir. Karışımın çevre ve insan sağlığı açısından ek risk oluşturmaması, yetkili kuruluş tarafından gerçekleştirilmesi, en iyi mevcut tekniklerin uygulanması ve karıştırmanın teknik olarak gerekli olması gibi şartlar dikkate alınmalıdır.

Yasadışı şekilde karıştırılmış bir tehlikeli atık ayrıştırılabiliyorsa ayrıştırılmalı; teknik olarak ayrıştırılamıyorsa karışım uygun tehlikeli atık prosedürüne göre yönetilmelidir.

Kalıcı Organik Kirleticiler (POP) İçeren Atıkların Bertarafı

POP konsantrasyonu ilgili sınır değerlere eşit veya üzerindeyse, atık POP mevzuatında öngörülen yöntemlerle bertaraf edilmeli veya geri kazanılmalıdır. Temel amaç, POP içeriğinin yok edilmesini veya geri dönüşümsüz şekilde dönüştürülmesini sağlamaktır. Tavsiye edilen yöntemler arasında Basel Convention altında da detayları ile belirtilen;

a. Tehlikeli atık yakma,
b. Gaz fazlı kimyasal indirgeme (GPCR)
c. Çimento fırınında birlikte işleme,
d. Süperkritik su oksidasyonu (SCWO)

yer almaktadır. Arıtma sonucunda PFAS kalıntıları ilgili sınır değerlerin üzerinde kalıyorsa, atık uygun şekilde yeniden işleme tabi tutulmalıdır. PFAS konsantrasyonunu yalnızca yasal sınırın altına indirmek amacıyla seyreltme gibi çevre açısından uygun olmayan yöntemler kullanılmamalıdır. İstisnai durumlarda kalıcı depolama seçenekleri ancak ilgili mevzuatta öngörülen bütün şartların sağlanması halinde değerlendirilebilir.

Tehlikeli Olmayan Atıkların Bertarafı

PFAS içeren bir atık tehlikeli atık kriterlerini karşılamıyorsa tehlikesiz atık olarak sınıflandırılabilir. Ancak "tehlikesiz" olarak sınıflandırılması, atığın otomatik olarak serbestçe çevreye bırakılabileceği veya normal atık gibi bertaraf edilebileceği anlamına gelmez. Atığın POP mevzuatı kapsamındaki konsantrasyonları ayrıca değerlendirilmelidir.

Özellikle PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinin kullanımından veya sistem temizliğinden kaynaklanan atık sular, ilgili PFAS kısıtlamaları nedeniyle ayrı toplanmalı ve uygun yöntemlerle işlenmelidir.

Katı ve tehlikesiz kabul edilen bazı ekipman veya malzemeler, uygun atık kodu ile sınıflandırıldıktan ve ilgili tesisin kabul kriterleri sağlandıktan sonra geri kazanım veya depolama tesislerine gönderilebilir.

PFAS kalıntısı bulunan karmaşık veya gömülü bileşenlerde ise dekontaminasyon, söküm veya doğrudan bertaraf seçenekleri karşılaştırılmalıdır.

PFAS İçeren Köpük Konsantresi veya Solüsyonun Bertarafı

PFAS içeren mevcut köpük konsantreleri ve ön karışımlar, öncelikle stok olarak tespit edilmeli, miktarları belirlenmeli ve güvenli şekilde muhafaza edilmelidir. Ürünlerin kullanılmaya devam edilmesi veya sistemde bırakılması kararı verilmeden önce, ürünün PFAS içeriği ve yürürlükteki mevzuat kapsamında kullanım durumu değerlendirilmelidir.

Bertaraf edilmesi gereken ürünler gereksiz gecikme olmaksızın uygun şekilde sınıflandırılmalı ve lisanslı tesislere gönderilmelidir.

PFAS içeren köpükler veya bunların kullanımından kaynaklanan atık sular için, PFAS'ın yok edilmesini veya geri dönüşümsüz şekilde dönüştürülmesini sağlayan uygun işlemler tercih edilmelidir. PFAS içeren atıkların bertarafında yüksek sıcaklıklı termal işlemler yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında; Tehlikeli Atık Yakma Tesisleri, Çimento Fırınları, GPCR ve SCWO gibi yöntemler belirtilmektedir.

Bertaraf yönteminin seçimi; atığın kimyasal bileşimine, PFAS konsantrasyonuna, fiziksel durumuna, tesisin izinlerine ve yerel mevzuata göre yapılmalıdır. Bertaraf tesisinin PFAS içeren atıkları kabul ettiğinin önceden teyit edilmesi gerekir.

PFAS İçeren Yangın Söndürme Atık Suyunun Bertarafı (Ön Karışım ve Diğer Malzemelerin Karışımı)

Yangın söndürme faaliyetleri, sistem testleri, eğitimler veya gerçek yangın olayları sırasında oluşan atık su; köpük konsantresi, su, yanmış malzemeler ve diğer kirleticilerle birlikte PFAS içerebilir. Bu nedenle oluşan atık su kontrolsüz şekilde çevreye veya kanalizasyon sistemine bırakılmamalı;

- Atık Su toplanmalı,
- Güvenli bir depolama alanında muhafaza edilmeli,
- Numune alınarak analiz edilmeli,
- Tehlikelilik ve POP açısından sınıflandırılmalı,
- Uygun arıtma veya bertaraf yöntemine yönlendirilmelidir.

PFAS içeren atık sular için arıtma yöntemleri genel olarak PFAS'ı sudan ayıran/konsantre eden yöntemler ve PFAS'ı yok etmeyi amaçlayan yöntemler olarak değerlendirilebilir.

Granüle aktif karbon (GAC) ve iyon değişimi (IX) gibi yöntemler PFAS'ı sudan ayırabilir veya konsantre edebilir. Ancak bu yöntemlerde ortaya çıkan PFAS içeren konsantre veya kalıntı ayrıca yönetilmelidir.

Dolayısıyla yalnızca PFAS'ı sudan ayırmak, PFAS'ın nihai olarak bertaraf edildiği anlamına gelmez. Konsantre veya kalıntı, PFAS'ın yok edilmesini veya geri dönüşümsüz olarak dönüştürülmesini sağlayan uygun bir prosese gönderilmelidir.

PFAS İçeren Yüzey Sularının Toplanmasına İlişkin Pratik Öneriler

PFAS ile kirlenmiş yangın söndürme sularının çevreye kontrolsüz şekilde yayılmasını önlemek amacıyla uygun muhafaza ve toplama sistemleri oluşturulmalıdır. Uygulanabilecek çözümler arasında;

- Yangın söndürme suyu hacmine uygun, geçirimsiz muhafaza havuzları veya tankları,
- Sızdırmaz drenaj sistemleri,
- Kapatma vanaları,
- Fiziksel setler ve yükseltilmiş eşikler,

- Uygun şekilde tasarlanmış yeraltı muhafaza alanları,
- Taşınabilir tanklar,
- Geçici ve sızdırmaz muhafaza sistemleri

Yukarıdaki yöntemler tavsiye edilmektedir.

Köpük konsantresi veya köpük çözeltisinin küçük miktarlarda dökülmesi halinde uygun emici malzemeler kullanılabilir. Bu işlem sonucunda oluşan kirlenmiş emici malzeme de PFAS içeren atık olarak değerlendirilmelidir.

PFAS içeren atık suyun belediye kanalizasyonuna veya çevreye deşarj edilmesi, ilgili mevzuat ve tesis kabul kriterleri doğrulanmadan kesinlikle gerçekleştirilmemelidir.

Ekipman ve Kişisel Koruyucu Ekipman Temizliğinden Kaynaklanan PFAS İçeren Suyun Bertarafı

PFAS içeren köpükle temas etmiş yangın söndürme ekipmanlarının ve kişisel koruyucu ekipmanların temizlenmesi sırasında PFAS içeren durulama suları oluşabilir. Bu suların PFAS konsantrasyonu kullanım geçmişine, köpüğün türüne ve uygulanan temizleme yöntemine bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle;

a. Temizleme suları ayrı toplanmalı,
b. Kontrolsüz şekilde toprağa veya drenaja bırakılmamalı,
c. Yağmur suyu sistemlerine verilmemeli,
d. Uygun muhafaza tanklarında tutulmalı,
e. Gerekli analizler yapılmalı ve
f. Uygun arıtma/bertaraf tesisine gönderilmelidir.

Aktif karbon veya iyon değişimi gibi ön arıtma yöntemleri PFAS'ı yoğunlaştırabilir; ancak oluşan konsantre veya kalıntı ayrıca PFAS'ın yok edilmesini veya geri dönüşümsüz olarak dönüştürülmesini sağlayan bir işleme tabi tutulmalıdır.

PFAS İçeren Sistem Bileşenlerinin Bertarafı

PFAS içeren köpüklere maruz kalan yangın söndürme sistemi bileşenleri arasında;

a. Köpük tankları,
b. Borular,
c. Vanalar,
d. Oranlayıcılar,
e. Pompalar,
f. Nozullar,
g. Köpük odaları,
h. Köpük dökücüler,
i. Hortumlar,
j. Contalar ve
k. Diğer bağlantı elemanları

bulunabilir. Özellikle gözenekli, elastomerik veya yüzey özellikleri nedeniyle PFAS tutabilen malzemeler tekrar tekrar yıkansa dahi PFAS kalıntısı içerebilir. Bu nedenle her bileşenin temizlenebilirliği ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Dekontaminasyon sonrasında kabul edilebilir PFAS seviyesine ulaşılması mümkün değilse bileşenin değiştirilmesi ve uygun atık prosedürüyle bertaraf edilmesi değerlendirilmelidir. Özellikle kauçuk contalar ve esnek hortumlar gibi malzemeler, PFAS'ın tutulması ve daha sonra yeniden salınması açısından özel olarak değerlendirilmelidir. Tipik değerlendirme yolları;

- POP İçeren Atıklar; "PFOS, PFOA veya PFHxS içeren eski köpüklere maruz kalmış ve temizlenmesi mümkün olmayan gözenekli veya emici parçalar, yapılan analiz sonucuna göre POP içeren atık olarak değerlendirilebilir."
- Tehlikeli Atık; "Borular, vanalar ve nozullar gibi parçalar, dekontaminasyon sonrasında tehlikeli atık kriterlerini karşılayan PFAS kalıntıları içeriyorsa yetkili tehlikeli atık tesislerine gönderilmelidir."
- Tehlikesiz Atık; "Gözeneksiz metal bileşenlerin yeterli şekilde temizlendiği ve yapılan analizler sonucunda ilgili tehlikeli veya POP eşiklerini karşılamadığı gösterilebiliyorsa, yürürlükteki mevzuata göre geri kazanım veya diğer uygun işlemler değerlendirilebilir."

Temizleme yöntemi, yapılan analizler ve bertaraf kararı mutlaka kayıt altına alınmalıdır.

PFAS İçeren Toprağın Bertarafı

PFAS ile kirlenmiş toprak için öncelikle kirliliğin kaynağı, yayılım alanı ve konsantrasyonu belirlenmelidir. Değerlendirme aşamaları;

- Görsel sınırlandırma; "Gözle görülebilen köpük kalıntıları veya ıslak/kirlenmiş alanlar belirlenmeli ve sınırlandırılmalıdır."
- Saha Taraması; "Gerekli görüldüğünde ön değerlendirme amacıyla saha taraması yapılabilir. Ancak bu tür basit tarama yöntemleri düşük PFAS konsantrasyonlarının belirlenmesi için tek başına yeterli kabul edilmemelidir."
- Laboratuvar Analizi; "PFAS konsantrasyonunun ve mevcut PFAS türlerinin belirlenmesi için akredite laboratuvar analizi yapılmalıdır. Analiz sonuçları ilgili mevzuat kapsamında belirlenen eşiklerle karşılaştırılmalıdır."

Kirlenme seviyesine bağlı olarak; kazı ve lisanslı tesise taşıma, stabilizasyon, uygun iyileştirme yöntemleri ve gerekli durumlarda yüksek sıcaklıklı termal işlem değerlendirilebilir. PFAS içeren toprak için kullanılacak bertaraf veya arıtma tesisinin PFAS kabul ve işlem kapasitesi önceden doğrulanmalıdır. İyileştirme sonrasında doğrulama numunesi alınarak işlemin hedeflenen sonucu sağladığı teyit edilmelidir.

PFAS ile Kirlenmiş Kişisel Koruyucu Ekipmanların İmhası

İtfaiyeci kıyafetleri, eldivenler, botlar, başlıklar ve diğer KKD'ler PFAS içeren yangın söndürme köpüklerine maruz kaldığında kirlenebilir. Kirlenmiş KKD'ler yeterli şekilde temizlenmeden yeniden kullanılırsa çapraz kontaminasyon riski oluşturabilir. Bu nedenle PFAS maruziyeti doğrulanmış KKD'ler için uygun dekontaminasyon prosedürleri uygulanmalıdır.

ISO 23616:2024 kapsamında rutin temizlik ile tehlikeli maddelere maruz kalma sonrası gelişmiş temizlik arasında ayrım yapılmaktadır. PFAS ile kirlenmiş ve yeterli şekilde dekontamine edilemeyen KKD'ler, atık sınıflandırması yapıldıktan sonra uygun özel bertaraf yöntemine gönderilmelidir.

Kullanım ömrünü tamamlamış, etkili şekilde temizlenemeyen veya yeniden kullanılması uygun olmayan KKD'lerin atık statüsü ayrıca değerlendirilmelidir.

PFAS İçeren Köpüklerin ve Bunların Kullanımından Kaynaklanan Atıkların Yönetimi Temel Şartlar

PFAS içeren yangın söndürme köpükleri ve bunların kullanımından kaynaklanan atıkların yönetimi için tavsiye niteliğinde karar ağacı, aşağıdaki temel sorulara cevap verecek şekilde düzenlenmelidir.

a. Malzeme POP içeren atık mıdır?
b. Malzeme tehlikeli atık mıdır?
c. Malzeme tehlikesiz atık olarak değerlendirilebilir mi?
d. Atık suyun herhangi bir alıcı ortama veya kanalizasyon sistemine deşarjına izin var mıdır?
e. Hangi PFAS konsantrasyon eşikleri uygulanmaktadır?
f. Atık hangi işleme veya bertaraf yöntemine gönderilmelidir?

Karar ağacı yalnızca bir ön değerlendirme ve yönlendirme aracı olarak kullanılmalıdır. Ulusal mevzuat, yetkili makamların yorumları ve bertaraf tesislerinin kabul kriterleri ayrıca doğrulanmalıdır. Özellikle PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinin kullanımından kaynaklanan atık sular için ilgili PFAS konsantrasyon eşikleri ve deşarj kısıtlamaları ayrıca değerlendirilmelidir.

Yangın Söndürme Köpüğü Altyapısının Temizliği

Köpüklü yangın söndürme sistemlerinde, özellikle PFAS içeren bir köpükten flor içermeyen köpüğe geçiş yapılırken, sistemin uygun şekilde dekontamine edilmesi gerekir. Gerekli görülen durumlarda sistem bileşenlerinin;

a. Temizlenmesi,
b. Sökülmesi,
c. Yenilenmesi,
d. Contalarının değiştirilmesi,
e. Hortumlarının değiştirilmesi veya
f. Tamamen değiştirilmesi

gerekebilir. Bu işlemler sistem sahibi ve işletmecisinin sorumluluğunda, sistemin yangın güvenliği ve işletme sürekliliği dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir.

PFAS içeren köpüklerden flor içermeyen alternatiflere geçişte sistemin mümkün olduğunca kapsamlı şekilde temizlenmesi önemlidir. Bunun temel nedeni, sistem içerisinde kalan PFAS kalıntılarının daha sonra sisteme doldurulacak yeni köpüğü tekrar kirletebilmesidir.

Bu nedenle yalnızca eski köpüğün tanktan boşaltılması yeterli kabul edilmemeli; köpükle temas eden sistemin tamamı değerlendirilmelidir. Yangın söndürme köpüğü altyapısı genel olarak aşağıdaki ana bileşenlerden oluşabilir;

- Köpük depolama sistemi: Köpük konsantresi veya ön karışım tankları ve kapları,
- Oranlama sistemi: Diyaframlı tanklar, oranlayıcılar, in-line oranlayıcılar veya pompalı oranlama sistemleri,
- Köpük dağıtım sistemi: Borular, hortumlar, pompalar ve vanalar,
- Köpük uygulama cihazları: Sprinkler başlıkları, nozullar, köpük odaları ve köpük dökücüler,

Temizleme kapsamı, sistemin tasarımına ve köpükle temas eden tüm bileşenlere göre belirlenmelidir.

Sistem Temizliğinde Genel Yaklaşım

Yangın söndürme köpüğü sistemlerinin tasarım ve konfigürasyonları farklı olduğundan tek bir dekontaminasyon yöntemi bütün sistemler için uygulanamaz.

Temizleme prosedürü;

- Sistemin tasarımına,
- Kullanılan eski köpüğün özelliklerine,
- Sistemde kullanılan malzemelere,
- Boru ve ekipmanların durumuna,
- Pfas maruziyet süresine,
- Sistemin daha önceki kullanımına

göre belirlenmelidir. Ayrıca sistem temizliği sırasında yangın koruma seviyesinin korunması için gerekli geçici önlemler önceden planlanmalıdır.

Yangın Söndürme Bileşenlerinin Temizlenmesi İçin Basitleştirilmiş Prosedür

Dekontaminasyon işlemine mümkün olduğunda bileşeni köpük kaynağından izole ederek başlanmalıdır. Boru sistemlerinde sistemin bölümlere ayrılması, aynı anda temizlenecek alanı azaltabilir ve temizleme işleminin kontrolünü kolaylaştırabilir. Tam izolasyon mümkün değilse sistemin tamamının yıkanması gerekebilir. Ancak büyük sistemlerde bunun önemli işletme ve yangın güvenliği sonuçları olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle:

a) Sistem tasarımını değerlendirilmesi; "Sistemin hangi bölümlerinin izole edilebileceği belirlenmeli"
b) Aşamalı yıkama planı oluştulması; "Sistemin tamamının aynı anda devre dışı bırakılması mümkün değilse, temizlik işlemi bölümler halinde yapılmalı"
c) Geçici yangın güvenliği önlemleri sağlanmalı; "Yangın söndürme sistemi devre dışı bırakıldığı süre boyunca alternatif yangın koruma önlemleri oluşturulmalı"
d) Gerekli durumlarda itfaiye ve ilgili taraflarla koordinasyon sağlanmalı; "Sistemin geçici olarak devre dışı kalmasının işletme ve yangın güvenliği üzerindeki etkileri ilgili taraflarla önceden değerlendirilmeli"

Eski Köpüğün Sistemden Çıkarılması

Sistemden çıkarılan PFAS içeren köpük ve ön karışımlar uygun şekilde etiketlenmiş, sızdırmaz ve mevzuata uygun kaplarda toplanmalıdır. Pompalama ve transfer sırasında aşırı köpük oluşumunun önüne geçilmelidir. Eski köpük kesinlikle kontrolsüz şekilde kanalizasyona, yağmur suyu sistemine, toprağa veya çevreye verilmemelidir.

İlk Durulama; eski köpük sistemden çıkarıldıktan sonra, gevşek şekilde tutunmuş kalıntıların uzaklaştırılması amacıyla temiz su ile ilk durulama yapılabilir. Durulama suyu da PFAS içeren atık olarak kabul edilmeli ve uygun şekilde toplanmalıdır. Temizlik sonucunda oluşan tüm durulama sıvıları uygun kapasitedeki bir muhafaza tankına veya depolama sistemine yönlendirilmelidir. PFAS içeren köpük ve temizlik sularıyla temas eden personel uygun KKD kullanmalıdır.

Bileşenlerin Değerlendirilmesi

Özellikle; Sentetik Kauçuk Contalar, Esnek Hortumlar, Elastomerik Parçalar, Gözenekli Malzemeler

ayrıca değerlendirilmelidir. Bu parçaların tekrar tekrar temizlenmesine rağmen PFAS tutmaya devam etmesi mümkündür. Bu nedenle bazı parçaların değiştirilmesi, temizlenmesinden daha uygun olabilir.

Temizleme sonrasında sistemden alınan numunelerde PFAS seviyeleri belirlenen kabul kriterlerini karşılamıyorsa dekontaminasyon işlemi tekrarlanmalıdır.

Kontrollü Temizleme Döngüsü

Temizleme işleminde, temizleme çözeltisinin sistem içerisinde kontrollü şekilde dolaşması sağlanmalıdır.

Gerektiğinde sistem çıkışları kapatılarak temizlik çözeltisinin belirlenen bölgelerde yeterli temas süresine sahip olması sağlanabilir. Temizlik tamamlandığında oluşan atık sıvı sistemden kontrollü şekilde çıkarılmalı, toplanmalı ve uygun şekilde bertaraf edilmelidir. Temizlik sonrasında tekrar numune alınarak PFAS kalıntı seviyeleri doğrulanmalıdır. Kabul kriterleri sağlanmıyorsa temizleme işlemi tekrarlanmalıdır. Sistemin yeniden devreye alınmasından önce son görsel kontrol ve gerekli fonksiyon testleri gerçekleştirilmelidir.

Temizlik Yönteminin Seçimi

Temizleme performansı;

a) Seçilen Temizlik Maddesine,
b) Sıcaklığa,
c) Temas Süresine,
d) Mekanik Etkiye,
e) Sistem Malzemelerine,
f) Eski Köpüğün Özelliklerine,
g) Temizlik Döngülerinin Sayısına

bağlıdır. Üçlü suyla durulama yaklaşımı, sıcaklık ve bekleme süresi gibi çeşitli yöntemler tartışılmaktadır. Bununla birlikte, hiçbir yöntemin bütün sistemler için %100 etkili olduğunun kabul edilmemesi gerekir. Daha agresif temizlik yöntemlerinin daha fazla atık oluşturabileceği ve bu atığın da ayrıca yönetilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Buna karşılık yetersiz temizlik, yeni flor içermeyen köpüğün sistemde kalan PFAS ile yeniden kirlenmesine neden olabilir.

Temizlik Denetimi, İzleme ve Dokümantasyon

Dekontaminasyon işleminin başarılı olduğunun gösterilebilmesi için yalnızca görsel kontrol yeterli değildir. Temizlik sürecinde ve sonrasında PFAS kalıntılarının ölçülmesi ve kayıt altına alınması gerekir. Numune alınabilecek başlıca noktalar;

a) Durulama suyu,
b) Sistem çıkış suyu,
c) Boru iç yüzeyleri,
d) Tank iç yüzeyleri,
e) Bağlantı elemanları,
f) Uygun yüzey sürüntüleri,
g) Gerekli durumlarda yeni doldurulan flor içermeyen köpük.

Yüzey sürüntüleri özellikle boru içleri, bağlantı elemanları ve tank gibi bölgelerde kalan PFAS yükünün değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Temizleme sonrasında yeni flor içermeyen köpük sisteme doldurulmadan önce dekontaminasyon sonuçları değerlendirilmelidir. Yeni köpük sisteme doldurulduktan sonra da gerektiğinde numune alınarak PFAS açısından kontrol edilmelidir.

Numune Alma Kuralları

PFAS analizlerinde numune alma sırasında çapraz kontaminasyonun önlenmesi kritik öneme sahiptir. Bu nedenle:

a. Laboratuvar tarafından önerilen PP veya HDPE numune kapları kullanılmalı,
b. Cam kaplardan kaçınılmalı,
c. Pudrasız nitril eldiven kullanılmalı,
d. Her numune için temiz ve tek kullanımlık ekipman kullanılmalı,
e. Teflon/PTFE içeren ekipmanlardan kaçınılmalı,
f. Numuneler laboratuvar talimatlarına uygun şekilde etiketlenmeli ve saklanmalıdır.

Numune alma prosedürü, analiz sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkiler.

PFAS Kalıntı Kütlesinin Değerlendirilmesi

Temizlik sonrasında sistemde kalan PFAS'ın yalnızca konsantrasyon olarak değil, mümkün olduğunda toplam yük olarak da değerlendirilmesi yararlı olabilir. Yüzey sürüntü sonuçlarından birim alan başına PFAS yükü hesaplanabilir ve toplam sistem yüzey alanı dikkate alınarak sistem içerisinde kalan PFAS miktarı tahmin edilebilir.

Bu yaklaşım, dekontaminasyonun etkinliğinin karşılaştırılması ve gelecekteki izleme çalışmalarının planlanması açısından kullanılabilir.

Tüm numune alma işlemleri, analiz yöntemleri, sonuçlar, kullanılan temizlik yöntemi, durulama sayısı, sıcaklık, süre ve gözlenen sapmalar ayrıntılı olarak kayıt altına alınmalıdır.

PFAS İçeren Yangın Söndürme Köpüğünün Flor İçermeyen Alternatiflerle Değiştirilmesi

PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinin kullanımının sona erdirilmesiyle birlikte, birçok uygulamada flor içermeyen köpüklere geçiş gündeme gelmektedir.

Bu geçiş yalnızca mevcut köpüğün tanktan boşaltılıp yerine yeni köpüğün doldurulması şeklinde değerlendirilmemelidir. Başarılı bir geçiş;

a. Mevcut köpüğün tanımlanması,
b. PFAS içeriğinin değerlendirilmesi,
c. Eski köpüğün uygun şekilde çıkarılması,
d. Sistem dekontaminasyonu,
e. Yeni köpüğün seçimi,
f. Sistem ve ekipman uyumluluğunun doğrulanması,
g. Gerekli ekipman değişikliklerinin yapılması,
h. Yeni köpüğün uygun oranlarda uygulanmasının doğrulanması,
i. Sistem testleri,
j. Dokümantasyon ve sürekli izleme

aşamalarını içeren kontrollü bir değişiklik yönetimi süreci olarak ele alınmalıdır.

Flor İçermeyen Yangın Söndürme Köpüklerine Geçiş

Flor içermeyen köpükler genellikle F3 veya "fluorine-free foam" olarak adlandırılmaktadır. Yeni köpük seçilirken yalnızca ürünün "PFAS-free" veya "F3" olarak pazarlanması yeterli kabul edilmemelidir. Ürünün;

a. PFAS içermediğine ilişkin üretici beyanı,
b. Ürün teknik dokümanı,

c. Bağımsız test/sertifikasyon bilgileri,
d. Yangın tehlikesine uygunluğu,
e. Uygulama oranı,
f. Uygulama yöntemi,
g. Sistemle uyumluluğu,
h. Depolama şartları,
i. Raf ömrü,
j. Çevresel özellikleri

değerlendirilmelidir. Özellikle yalnızca «PFOA-free" veya "PFOS-free" ibaresinin bulunması, ürünün diğer PFAS maddelerini içermediğini tek başına kanıtlamaz. Bu nedenle üreticiden ürünün PFAS ve flor içeriğine ilişkin açık ve doğrulanabilir teknik bilgi istenmelidir.

PFAS İçermediğinin Doğrulanması

Flor içermeyen köpük seçilirken ürünün gerçekten PFAS içermediği doğrulanmalıdır. Üretici tarafından sağlanan belgeler incelenmeli ve mümkün olduğunda bağımsız laboratuvar analizleri veya uygun sertifikasyon sonuçları değerlendirilmelidir. Ayrıca köpüğün yalnızca PFAS açısından değil, genel kimyasal bileşimi ve çevresel profili açısından da değerlendirilmesi gerekir.

"PFAS-free", "F3" veya "fluorine-free" ifadeleri tek başına teknik uygunluk belgesi olarak kabul edilmemeli; ürünün gerçek bileşimi ve performansı doğrulanmalıdır.

Başarılı Geçiş için Tavsiye Edilebilir Temel Hususlar;

- Yangın tehlikesi yönetimi için risk temelli gerekçelendirme; "Yeni köpüğün mevcut yangın riskine uygunluğu değerlendirilmeli. Değişiklik kararı, yalnızca çevresel nedenlerle değil, aynı zamanda sistemin yangın güvenliği performansını koruyacak şekilde risk temelli olarak verilmeli"
- Flor içermeyen FFF uygunluğu ; "Yeni köpüğün gerçek uygulama koşullarındaki performansı değerlendirilmeli"

Özellikle;

a. Söndürme performansı
b. Uygulama oranı
c. Uygulama yöntemi
d. Su ile karışabilirliği
e. Köpük özellikleri
f. Mevcut sistemle uyumluluğu

kontrol edilmelidir. Büyük miktarda satın alma yapılmadan önce, mümkün olduğunda ürünün amaçlanan uygulamadaki performansının değerlendirilmesi önerilir. Yeni köpüğün teknik şartnamesi performansa dayalı olarak hazırlanmalıdır. Üretici tarafından verilen nominal bilgiler yanında, ilgili bağımsız testler, sertifikalar ve uygulama kılavuzları incelenmelidir. Özellikle LASTFIRE gibi ilgili teknik kılavuzlar ve uygulama kriterleri dikkate alınmalıdır.

Mevcut sistem, yeni köpüğün PFAS ile yeniden kirlenmesini önleyecek şekilde temizlenmelidir. Gerekli durumlarda;

a. Birden fazla durulama
b. Özel temizlik maddeleri

c. Bileşen değişimi
d. Yüzey ve sıvı numuneleri

kullanılabilir. Temizlik sonucunda oluşan durulama suları uygun atık prosedürüne göre yönetilmelidir.

Sistem ve Ekipman Değişiklikleri

Yeni köpüğün viskozitesi, yoğunluğu, uygulama oranı ve diğer fiziksel özellikleri mevcut sistemin oranlama ekipmanlarıyla uyumlu olmalıdır. Özellikle;

a. Oranlayıcılar
b. Diyaframlı tanklar
c. Pompalar
d. Dozaj ekipmanları
e. Borular
f. Vanalar
g. Contalar
h. Hortumlar

kontrol edilmelidir. Yeni köpüğün mevcut oranlama sistemiyle doğru konsantrasyonda karışıp karışmadığı doğrulanmalıdır. Malzeme uyumluluğu da ayrıca değerlendirilmelidir.

Çevresel ve Tehlike Hususları; Flor içermeyen olması, ürünün otomatik olarak tamamen çevresel açıdan zararsız olduğu anlamına gelmez. Yeni ürünün çevresel profili, içerdiği kimyasallar ve kullanım sonrasında oluşabilecek atıklar değerlendirilmelidir. İkame ürünlerin başka kalıcı veya çevresel açıdan önem taşıyan maddeleri içerip içermediği de kontrol edilmelidir.

Sistem Testi ve Sürekli Güvence; Köpük değişikliği bir değişiklik yönetimi süreci olarak ele alınmalı ve değişiklik sonrasında;

a. Sistem dokümantasyonu güncellenmeli
b. İşletme prosedürleri revize edilmeli
c. Gerekli kabul testleri yapılmalı
d. Oranlama performansı doğrulanmalı
e. Sistemin yangın koruma fonksiyonu test edilmeli

Periyodik bakım ve testlerin tesise ve sistem tipine özgü olarak planlanması gerekir.

Saklama ve Raf Ömrü; Flor içermeyen köpüklerin depolama koşulları mevcut PFAS içeren köpüklerden farklı olabilir. Bu nedenle;

a. Depolama sıcaklığı
b. Tank malzemesi
c. Güneş ve çevresel etkiler
d. Raf ömrü
e. Üretici tavsiyeleri

dikkate alınmalıdır. Ürün üreticisinin depolama ve raf ömrü talimatlarına uyulmalıdır.

Eğitim ve Acil Durum Planlaması; Yeni köpüğe geçiş sonrasında;

a. İşletme personeli
b. Bakım personeli
c. Yangın müdahale ekipleri

yeni sistem hakkında bilgilendirilmelidir. Acil durum ve yangın müdahale prosedürleri yeni köpüğün özelliklerine ve sistem konfigürasyonuna göre güncellenmelidir.

Yeni Nesil PFAS İçermeyen Köpüklere Geçişin Yönetimi; Köpük değişikliği sırasında yangın koruma kapasitesinin azalmasına izin verilmemelidir. Sistem devre dışı bırakılacaksa;

a. Geçici yangın güvenliği önlemleri
b. Alternatif söndürme sistemleri
c. İşletme kısıtlamaları
d. Acil durum prosedürleri
e. Gerekli durumlarda dış itfaiye ile koordinasyon

önceden planlanmalıdır.

PFAS Kirliliğinin Yönetimi; geçiş sürecinde yalnızca mevcut köpük stoklarının bertarafı değil, sistemde geçmişten kalan PFAS kirliliğinin yönetimi de dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda;

a. Mevcut PFAS İçeren Köpük Stokları,
b. Tank ve boru tesisatındaki kalıntılar,
c. Temizlik suları,
d. Kirlenmiş sistem bileşenleri,
e. Contalar ve hortumlar,
f. Kirlenmiş ekipman,
g. Varsa kirlenmiş toprak

belirlenmeli ve uygun atık yönetim prosedürleri uygulanmalıdır. Dekontaminasyon ve bertaraf işlemleri kayıt altına alınmalı, kullanılan yöntemler, analiz sonuçları ve nihai bertaraf belgeleri saklanmalıdır.

PFAS İçeren Köpüklerden Yeni Nesil Flor İçermeyen Köpüklerde Geçiş Zaman Çizelgesi Nedir?

Burada artık AB açısından bağlayıcı ve tarihleri netleşmiş bir geçiş takvimi var. Özellikle Seveso kapsamındaki tesisler için önceki taslaklarda konuşulan “5 yıl” değil, 10 yıllık özel geçiş süresi kabul edildi.

Temel mevzuat, Commission Regulation (EU) 2025/1988 ile REACH Ek XVII’ye eklenen PFAS yangın söndürme köpüğü kısıtlamasıdır. Düzenleme Ekim 2025’te kabul edildi ve 23 Ekim 2026’da uygulanmaya başlıyor.

Bu tarihler doğrudan 2025/1988 sayılı AB Tüzüğü’ndeki nihai hükümlere dayanmaktadır. Özellikle Seveso tesisleri ve offshore Oil & Gas için 23 Ekim 2035 tarihi açıkça belirtilmiştir.

PFAS İçeren Köpüklerden Yeni Nesil Köpüklere Geçiş Takvimi Nedir?

Avrupa Birliği, yangın söndürme köpüklerinde bulunan PFAS’ların çevresel ve insan sağlığı üzerindeki kalıcı etkileri nedeniyle kullanımını aşamalı olarak sınırlandırmaktadır. Bu kapsamda Komisyon Tüzüğü (AB) 2025/1988, REACH Tüzüğü’nün Ek XVII’sini değiştirerek yangın söndürme köpüklerinde PFAS kullanımına ilişkin genel bir kısıtlama ve farklı sektörler için belirlenmiş geçiş süreleri getirmiştir. Tüzük 23 Ekim 2025 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Düzenlemenin temel yaklaşımı, genel olarak PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinin 23 Ekim 2030’dan

itibaren, toplam PFAS konsantrasyonu 1 mg/L veya üzerinde olacak şekilde piyasaya arz edilmesini veya kullanılmasını yasaklamaktır. Bununla birlikte, bazı yüksek riskli uygulamalar için daha uzun geçiş süreleri ve özel derogasyonlar tanımlanmıştır.

Bu nedenle geçiş süreci, yalnızca mevcut AFFF/AR-AFFF stoklarının F3 köpükle değiştirilmesi olarak değil; yangın senaryolarının yeniden değerlendirilmesi, köpük performansının doğrulanması, ekipmanların uygunluğunun incelenmesi ve PFAS kaynaklı çevresel etkilerin kontrol altına alınması şeklinde kapsamlı bir dönüşüm programı olarak ele alınmalıdır.

Tesis / Kullanım Alanı	PFAS İçin Son Tarih	Geçiş Süresi	Temel Yaklaşım
Seveso III kapsamındaki tesisler	23 Ekim 2035	10 yıl	Kontrollü ve risk bazlı F3 dönüşümü
Rafineri, petrokimya, kimya tesisleri ve büyük yanıcı sıvı depolama tesisleri*	23 Ekim 2035	10 yıl	Risk bazlı dönüşüm
Offshore Oil & Gas tesisleri	23 Ekim 2035	10 yıl	Alternatiflerin teknik olarak doğrulanması
Askeri gemiler	23 Ekim 2035	10 yıl	Özel derogasyon
23 Ekim 2025'ten önce PFAS köpüğü bulunan mevcut sivil gemiler	23 Ekim 2035	10 yıl	Yenileme/dry-dock süreçleriyle dönüşüm
Sivil havacılık ve sivil havaalanları	23 Ekim 2030	5 yıl	Daha erken F3 dönüşümü
Yeni gemiler	23 Ekim 2030	5 yıl	PFAS'sız sistem
Eğitim ve testler	23 Nisan 2027	18 ay	PFAS kullanımının büyük ölçüde sona erdirilmesi
Kamu itfaiyesi / kamu hizmeti gören özel itfaiye	23 Nisan 2027	18 ay	F3'e geçiş
Kamu itfaiyesinin Seveso tesislerindeki endüstriyel yangın müdahaleleri	23 Ekim 2035	10 yıl	PFAS yalnızca bu özel müdahale amacıyla
Portatif yangın söndürücüler	31 Aralık 2030	—	PFAS'sız ürünlere kademeli geçiş
Diğer genel sektörler	23 Ekim 2030	5 yıl	F3 köpüğe geçiş

* 2035 tarihindeki özel derogasyonun hukuki dayanağı, genel olarak Direktif 2012/18/AB kapsamındaki kuruluşlar (Seveso tesisleri) için tanımlanan istisnadır. Bu istisna sivil havacılığı ve sivil havaalanlarını kapsamamaktadır.

Önemli: 23 Ekim 2035 tarihi, Seveso tesisleri için "2035'e kadar hiçbir işlem yapılmasına gerek olmadığı" anlamına gelmez. Bu tarih, mevzuatın belirli koşullar altında PFAS kullanımına izin verdiği azami geçiş tarihidir.

Yangın Korunum Sistemi Tasarımcıları Açısından Stratejik Sonuç

Bu düzenlemenin en önemli sonucu, yeni tesislerin tasarım yaklaşımının değişmesidir. Mevzuat belirli mevcut tesislere 2035'e kadar geçiş imkânı tanıyor olsa da, 2026'dan itibaren yeni tesislerde PFAS içeren köpük sistemlerini standart çözüm olarak tercih etmek giderek daha fazla teknik, ticari ve işletme riski yaratacaktır. Bu nedenle yeni:

a) Rafineri,
b) Petrokimya Tesisi,
c) Kimya Tesisi,
d) Yakıt Terminali,
e) Tank Farm,
f) Solvent Depolama Tesisi,
g) LNG/LPG tesisi,
h) endüstriyel proses tesisi,

i) havaalanı yakıt depolama tesisi

tasarlanırken PFAS-free / F3 köpük sistemi başlangıç tasarım kriteri olarak değerlendirilmelidir. Böylece birkaç yıl sonra aynı sistemin PFAS'tan F3'e dönüştürülmesi için yeniden mühendislik yapılması, ekipman değiştirilmesi ve sistemin yeniden test edilmesi gerekliliği azaltılmış olur.

Türkiye Açısından Değerlendirme

AB'nin REACH kapsamındaki bu düzenlemesi, AB üyesi olmayan ülkelerde otomatik olarak aynı şekilde uygulanacağı anlamına gelmez. Ancak Türkiye açısından konu özellikle önemlidir. Çünkü;

1. BEKRA/Seveso kapsamındaki tesisler,
2. AB'ye ihracat yapan sanayi kuruluşları,
3. Uluslararası şirketlerin Türkiye tesisleri,
4. Petrol ve petrokimya tesisleri,
5. Kimya tesisleri,
6. Yakıt terminalleri,
7. Havaalanları

açısından AB'nin PFAS politikası önemli bir teknik ve ticari referans noktası olacaktır. Bu nedenle Türkiye'deki tesislerin de 2035 tarihini beklemek yerine 2026'dan itibaren kontrollü bir PFAS, F3 dönüşüm programı başlatması, hem mevzuat riskini hem de gelecekte ortaya çıkabilecek yüksek dönüşüm maliyetlerini azaltacaktır.

Ülkemiz açısından tavsiye edebileceğimiz yaklaşım;

a) 2026'da süreci başlat ve durum tespiti yap
b) 2027–2030 arasında dönüşümün nasıl yapılacağını planla, doğrula ve pilot uygulamalar yap
c) 2030–2033'te ana sistemleri dönüştür
d) 2033–2035'te kalan PFAS sistemlerini kaldır

şeklinde planlanabilir. Ülkemiz açısından da; PFAS içeren yangın söndürme köpüklerinden F3 köpüklere geçiş, yalnızca bir **köpük konsantresi değişimi** değildir. Bu süreç; **risk analizi, yangın senaryolarının yeniden değerlendirilmesi, uygun F3 ürününün seçilmesi, sistem ekipmanlarının uyumluluğunun doğrulanması, hidrolik ve performans testleri, PFAS stoklarının yönetimi, ekipman temizliği ve çevresel atık yönetimini** kapsayan kapsamlı bir mühendislik dönüşümüdür.

Böylece tesis, 2035'te zorunlu bir dönüşüm yapmak yerine, dönüşümü kontrollü, planlı ve yangın güvenliğini koruyacak şekilde tamamlamış olur.

SONUÇ – PFAS İçeren Köpükten Flor İçermeyen Köpüğe Geçişte Tavsiye Edilen Uygulama Sırası

PFAS içeren yangın söndürme köpüğünden flor içermeyen köpüğe geçiş, yalnızca köpük konsantresinin değiştirilmesi olarak değerlendirilmemelidir. Önerilen genel uygulama sırası aşağıdaki şekilde olması

1. Mevcut sistemi ve köpüğü belirle; Mevcut köpüğün türü, üreticisi, konsantrasyonu, kullanım geçmişi, miktarı ve PFAS içeriği belirlenir.
2. Mevcut PFAS stoklarını kontrol altına al; Köpük konsantresi ve ön karışımlar güvenli ve kontrollü şekilde muhafaza edilir.
3. Atık sınıflandırmasını yap; Köpük, ön karışım, temizlik suyu ve kirlenmiş ekipman ilgili mevzuata göre sınıflandırılır.
4. Eski köpüğü sistemden çıkar; Köpük konsantresi ve ön karışım kontrollü şekilde boşaltılır ve uygun

kaplarda toplanır.

5. Sistemi dekontamine et; Tank, boru, oranlama ekipmanı, vanalar, pompalar, nozullar, hortumlar, contalar ve diğer köpükle temas eden bileşenler değerlendirilir ve uygun yöntemle temizlenir.
6. Temizlik atıklarını topla; Bütün durulama ve temizlik suları ayrı olarak toplanır ve uygun PFAS atık prosedürüne göre yönetilir.
7. Dekontaminasyonu doğrula; Durulama suyu, yüzeyler ve gerekli diğer noktalardan numune alınarak PFAS analizi gerçekleştirilir.
8. Gerekirse temizliği tekrarla veya bileşenleri değiştir; Kabul kriterleri sağlanmıyorsa temizlik tekrarlanır; temizlenmesi mümkün olmayan contalar, hortumlar veya diğer bileşenler değiştirilir.
9. Yeni flor içermeyen köpüğü seç ve doğrula; Yeni köpüğün PFAS içermediği, yangın riskine uygun olduğu, gerekli performans kriterlerini karşıladığı ve mevcut sistemle uyumlu olduğu doğrulanır.
10. Sistem uyumluluğunu kontrol et; Oranlama sistemi, pompalar, borular, vanalar, contalar ve diğer ekipmanların yeni köpükle uyumluluğu kontrol edilir.
11. Yeni köpüğü doldur; Yeni köpük üretici talimatlarına uygun şekilde sisteme doldurulur.
12. Sistem performansını test et; Oranlama, karışım oranı, debi, basınç ve gerekli fonksiyon testleri gerçekleştirilir.
13. Yeni köpüğü analiz et; Gerekli görülen durumlarda sistemde bulunan yeni köpükten numune alınarak PFAS açısından analiz edilir.
14. Sistemi yeniden devreye al; Tüm testler ve kontroller tamamlandıktan sonra sistem işletmeye alınır.
15. Tüm süreci dokümante et; Eski köpüğün miktarı ve bertarafı, temizlik yöntemi, kullanılan kimyasallar, durulama sayısı, numune sonuçları, değiştirilen ekipmanlar, yeni köpüğün teknik bilgileri ve sistem test sonuçları kayıt altına alınır.

Bu yaklaşımın temel amacı yalnızca eski PFAS içeren köpüğü sistemden çıkarmak değil, **sistemin geçmişten kalan PFAS kalıntıları nedeniyle yeni flor içermeyen köpüğü yeniden kirletmesini önlemek ve yeni köpüklü yangın söndürme sisteminin yangın güvenliği performansını koruyarak kontrollü biçimde işletmeye alınmasını sağlamaktır.**

Kaynakça:

- REACH: “Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. - Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması”
- REACH Ek XVII Madde 68 - C9-C14PFCA’lar, tuzları ve ilgili maddelerin kısıtlanması
- REACH Ek XVII Madde 79 – PFHxA, tuzları ve ilgili maddelerin kısıtlanması
- REACH Ek XVII - Yangın söndürme köpüklerindeki PFAS
- POPs: “Persistent Organic Pollutants – Kalıcı Organik Kirleticiler”
- ECHA: “European Chemicals Agency – Avrupa Kimyasallar Ajansı
- EEE – “European Environment Agency – Avrupa Çevre Ajansı”
- Directive (EU) 2020/2184 – “Drinking Water Directive (İçme Suyu Direktifi”
- Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal
- Listing of the Basel Convention technical guidelines for Environmentally Sound Management (ESM) of Persistent Organic Pollutants (POPs) wastes
- LASTFIRE – Foam Test Protocol / Fire Test Specification, Revision D, May 2015 (LFTestSpec2015)

KISA ÖZGEÇMİŞ

Dursun Kuzey Şahin

1967 yılında Sivas'ta doğdu. İlk öğrenimini Sivas'ta, ortaokul ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında mezun oldu ve mesleki kariyerinin ilerleyen dönemlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği alanında yüksek lisans eğitimini tamamladı.

Meslek hayatına mekanik tesisat sektöründe başladı. 1992–1996 yılları arasında mekanik tesisat sektöründe ve Kalafatoğlu firmasında görev yaptı. 1997 yılında, yangın ve güvenlik sistemleri alanında faaliyet gösteren AKSAY Yangın ve Güvenlik Sistemleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nin, 1998 yılında, AKTAŞ Yangın ve Güvenlik Sistemleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nin ve 2010 yılında, özellikle köpüklü yangın korunum sistemleri alanında faaliyet göstermek üzere kurulan 3A Köpüklü Yangın Korunum Sistemleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nin kurucu ortağı oldu.

1997 yılından günümüze kadar, başta endüstriyel tesisler olmak üzere farklı sektörlerde yangından korunma sistemlerinin risk analizi, mühendislik ve tasarım çalışmaları, sistem seçimi, malzeme ve ekipman temini, uygulama, saha organizasyonu, test, devreye alma ve bakım süreçlerinde aktif olarak görev almaktadır. Özellikle endüstriyel tesislerin yangından korunması, köpüklü yangın söndürme sistemleri, sprinkler sistemleri, yangın pompa sistemleri, gazlı söndürme sistemleri ve özel yangın korunum sistemleri konularında uzun yıllara dayanan mesleki deneyime sahiptir.

Evli ve bir çocuk babasıdır.

Yangın Korunum Sistemleri Seçiminde Yasal Çevre Düzenlemeleri ve Sürdürülebilirlik Hedeflerinin Etkisi

Yusuf Arslan

ÖZET

Yangın korunum sistemleri sektörü, son yıllarda yalnızca teknik performans kriterlerinden değil, ayrıca çevre mevzuatı ve sürdürülebilirlik politikalarından da derinden etkilenen bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu çalışma, söz konusu dönüşümün temel dinamiklerini ve sistem seçim kararlarına yansımalarını ele almaktadır.

Montreal Protokolü kapsamında ozon tabakasına zarar veren halon gazlarının yasaklanması, sektörde bu paradigma değişikliğinin ilk önemli adımlarından biri olmuştur. Bu süreç, alternatif söndürme maddesi arayışlarını hızlandırmış ve beraberinde yeni nesil kimyasalların ve söndürme sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Su bazlı sistemlerde geleneksel sprinkler sistemlerinin yerini giderek daha fazla su sisi teknolojisinin aldığı gözlemlenmektedir. Düşük su ihtiyacı, pek çok durumda daha küçük kurulu güç ve yüksek söndürme etkinliği, bu teknolojinin hem çevresel hem de teknik açıdan tercih edilmesini sağlamaktadır.
Gazlı söndürme sistemlerinde HFC ve HCFC bazlı söndürücüler yüksek küresel ısınma potansiyeli (GWP) nedeniyle F-gaz yönetmelikleri çerçevesinde kısıtlamalarla karşılaşmaktadır. Bu baskı altında, düşük GWP değerine sahip floroketon bileşikleri veya çevre açısından nötr kabul edilen azot ve argon bazlı inert sistemlere olan ilgi artmaktadır.

Köpüklü söndürme sistemlerinde ise PFAS içeren AFFF köpüklerin yasaklanma süreci, sektörü florsuz SFFF köpük teknolojilerine yönlendirmektedir. Bu geçiş, özellikle havacılık ve petrokimya sektörlerinde ciddi teknik ve operasyonel yeniden yapılanma gerektirmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, yasal çevre düzenlemelerinin yangın korunum sistemi seçimlerini nasıl yeniden şekillendirdiğini ortaya koymakta ve sektörün sürdürülebilir bir geleceğe doğru evrilen yolculuğunu bütüncül bir perspektifle değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın korunum sistemleri, su sisi, inert gazlar, SFFF, GWP, sürdürülebilirlik

THE IMPACT OF LEGAL ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND SUSTAINABILITY GOALS ON THE SELECTION OF FIRE PROTECTİON SYSTEMS

ABSTRACT

The fire protection systems sector has undergone a transformation in recent years, profoundly influenced not only by technical performance criteria but also by environmental legislation and sustainability policies. This study addresses the fundamental dynamics of this transformation and its implications for system selection decisions.
The ban on ozone-depleting halon gases under the Montreal Protocol was one of the first significant steps

in this paradigm shift in the sector. This process accelerated the search for alternative extinguishing agents and necessitated the development of new generation chemicals and extinguishing systems.

In water-based systems, it is observed that water mist technology is increasingly replacing traditional sprinkler systems. Low water requirements, smaller installed power in many cases, and high extinguishing efficiency make this technology preferable from both environmental and technical perspectives.

In gaseous extinguishing systems, HFC and HCFC-based extinguishing agents face restrictions under the F-gas regulations due to their high global warming potential (GWP). Under this pressure, interest in fluoroketone compounds with low GWP values or inert nitrogen and argon-based systems, considered environmentally neutral, is increasing.

In foam fire suppression systems, the ban on AFFF foams containing PFAS is leading the industry towards fluorine-free SFFF foam technologies. This transition requires significant technical and operational restructuring, particularly in the aviation and petrochemical sectors.

Consequently, this study reveals how legal environmental regulations are reshaping fire protection system choices and evaluates the industry's journey towards a sustainable future from a holistic perspective.

Keywords: Fire protection systems, water mist, inert gases, SFFF, GWP, sustainability

1. GİRİŞ

Yangın korunum sistemlerinin tasarımı ve seçimi, geleneksel olarak neredeyse tamamen teknik performans kriterlerine dayanmaktadır. Söndürme etkinliği, tepki süresi, güvenilirlik ve NFPA, EN ya da ISO gibi uluslararası standartlara uygunluk, sistem seçiminde belirleyici unsurlar olmuştur. Ancak son on beş yıllık dönemde, bu geleneksel değerlendirme çerçevesine çevresel mevzuat uyumluluğu ve sürdürülebilirlik hedefleri, iki yeni ve giderek daha baskın hale gelen yaklaşım olarak eklenmiştir. Bugün bir yangın korunum mühendisi, bir söndürme sistemi seçerken «bu sistem yangını etkin biçimde söndürür mü» sorusunun yanında "bu sistemin kullandığı madde on yıl sonra da yasal olarak temin edilebilir mi", "bu sistem projenin sürüdürülebilirlik sertifikasyonuna katkı sağlar mı" ve "bu sistemin çevresel ayak izi kabul edilebilir düzeyde mi" sorularına da yanıt aramak zorunda kalabilmektedir.

Bu dönüşümün arkasında birbiriyle örtüşen ancak farklı kaynaklardan beslenen üç düzenleyici ve politik dinamik bulunmaktadır. Birincisi, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) gibi gönüllü yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin, enerji ve su verimliliğini bina tasarımının merkezine yerleştirmesidir. Bu durum sprinkler sistemlerinden su sisi sistemlerine kadar geniş bir yelpazede yangın korunum sistemi tercihlerini doğrudan etkilemektedir. İkincisi, Montreal Protokolü'nün Kigali Değişikliği ve Avrupa Birliği'nin F-Gaz Tüzüğü ile somutlaşan, yüksek küresel ısınma potansiyeline (GWP) sahip halokarbon temelli temiz söndürücü maddelerin (HFC-227ea, HFC-125 vb.) aşamalı olarak piyasadan çekilmesidir. Üçüncüsü ise, onlarca yıldır tutuşabilir sıvı yangınlarında standart uygulama olan PFAS (per- ve polifloroalkil maddeler) içeren AFFF köpüklerinin, kalıcı çevresel kirleticiler olarak tanımlanması sonucu Avrupa Birliği'nde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde hızla kısıtlanmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu üç düzenleyici-sürdürülebilirlik ekseninin, yangın korunum sistemi seçim kararlarını hangi mekanizmalarla ve ne ölçüde yeniden şekillendirdiğini, güncel mevzuat metinleri, resmi kurum raporları ve benzeri literatür ışığında ortaya koymaktır. Çalışma konuyu üç ana başlık altında ele almaktadır. Yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin enerji ve su verimliliği kriterleri ile yangın korunum sistemi

seçimi arasındaki ilişki, yüksek GWP›li halokarbonların ikamesi ve aşamalı kaldırılma süreci, PFAS düzenlemelerinin köpüklü söndürme sistemi seçimi ve performansı üzerindeki etkisi. Bu üç eksenin ardından, sektörün karşı karşıya olduğu çok kriterli karar problemi bütüncül bir perspektifle tartışılmakta ve yangın korunum mühendisleri için pratik bir değerlendirme çerçevesi önerilmektedir.

2. YEŞİL BİNA SERTİFİKASYON SİSTEMLERİ VE YANGIN KORUNUM SİSTEMİ SEÇİMİ

2.1. LEED ve BREEAM Sertifikasyon Sistemlerine Genel Bakış

LEED, Amerika Birleşik Devletleri merkezli U.S. Green Building Council (USGBC) tarafından geliştirilmiş, dünya genelinde en yaygın kullanılan gönüllü yeşil bina sertifikasyon sistemidir. Sistem sürdürülebilir arazi kullanımı, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynaklar, iç mekân çevre kalitesi ve inovasyon olmak üzere farklı kategorilerde toplanan puanlara göre projeleri Sertifikalı, Gümüş, Altın ve Platin seviyelerinde derecelendirir. BREEAM ise İngiltere'de Building Research Establishment (BRE) tarafından geliştirilen, dünyanın ilk bina çevresel değerlendirme yöntemidir; LEED'in aksine puan toplama yerine, her kriter kategorisine farklı ağırlık katsayıları atayan bir ağırlıklı kredi sistemi kullanır ve lisanslı BREEAM değerlendiricileri tarafından bağımsız olarak denetlenir [1]. Her iki sistem de gönüllü olmakla birlikte, birçok kamu ve özel sektör yatırımcısı tarafından ihale şartnamelerine dahil edilmekte, bu da sertifikasyon kriterlerini fiilen bağlayıcı hale getirebilmektedir.

2.2. Yangın Korunum Sistemlerinin Sertifikasyon Kredilerine Etkisi

Yangın korunum sistemleri, LEED değerlendirmesinde tek başına bir kredi kategorisi oluşturmasa da, enerji ve atmosfer, su verimliliği, malzeme ve kaynaklar ile inovasyon kategorileri üzerinden dolaylı ancak somut biçimde puanlamayı etkilemektedir [2]. Sprinkler sistemleri, LEED'in malzeme ve kaynaklar kredilerinde mekanik ekipmanla aynı muamele görerek hesaplamalardan hariç tutulabilir. Sistemde kullanılan borulama ve contalarda uçucu organik bileşik (VOC) sınırlarına uyum ile PVC içermeyen malzeme tercihleri, iç mekân çevre kalitesi ve malzeme kredilerine katkı sağlayabilir [9]. Su verimliliği kredileri kapsamında, düşük debili yağmurlama başlıkları, geri kazanılmış (şebeke suyu olmayan) su kullanımı ve akıllı izleme sistemleriyle bütünleşik tasarımlar, hem söndürme performansından ödün vermeden su tüketimini azaltmakta hem de doğrudan puan kazandırabilir bir unsur olarak düşünülebilmektedir. Ayrıca, sprinkler sistemiyle akıllı izleme teknolojilerinin bütünleştirilmesi gibi yenilikçi tasarım yaklaşımları, LEED'in İnovasyon kredisi kapsamında değerlendirilebilmektedir [10].

2.3. Su Verimliliği Ekseninde Sprinkler ve Su Sisi Sistemleri

Geleneksel sprinkler sistemleri, bir yangını söndürmek için itfaiye hortumuna kıyasla zaten yaklaşık %90 oranında daha az su tüketmektedir. Su sisi (water mist) teknolojisi, ince su damlacıkları üreterek suyun toplam yüzey alanını artırmakta ve bu sayede benzer soğutma/söndürme etkisini çok daha düşük su debisiyle elde edebilmektedir [11]. Daha düşük debi ihtiyacı, tipik olarak daha küçük pompa kurulu gücü, daha küçük çaplı boru hatları ve daha küçük su deposu hacmi anlamına gelmekte; bu da hem işletme sırasında su tüketimini hem de sistemin gömülü enerji/karbon ayak izini azaltmaktadır. Bu özellikleriyle su sisi sistemleri, LEED'in su verimliliği kredilerine katkı sağlayabilecek bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Ancak yüksek basınçlı su sisi sistemlerinin güvenli işletimi, düzenli bakım ve eğitimli personel gerektirdiğinden, teknoloji seçimi yalnızca sürdürülebilirlik kriterine göre değil, risk sınıfına özgü performans testleri ve NFPA 750 [12] gibi uygulanabilir standartlara uygunluk temelinde yapılmalıdır.

2.4. Sürdürülebilir Bina Tasarımı ile Gelen Yangın Güvenliği Çelişkileri

Yeşil bina sertifikasyonu odaklı tasarım kararlarının, yangın güvenliği açısından her zaman nötr olmadığı, Fire Protection Research Foundation tarafından yayımlanan kapsamlı bir literatür taramasında ayrıntılı biçimde belgelenmiştir . Doğal havalandırma stratejileri, atriumlar ve açık plan tasarımlar, duman ve yangının yayılma hızını artırabilmekte, yeşil çatı ve yeşil cephe sistemlerinde kullanılan bitkisel malzemeler ilave yanıcı yük oluşturabilmekte, su tasarrufu amacıyla düşürülen şebeke basınçları (şebekeden beslemeye müsaade edilen yerlerde) sprinkler performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle yangın korunum mühendisinin rolü, sürdürülebilirlik hedefleri ile pasif ve aktif yangın korunum performansı arasında bir denge kurmak, sertifikasyon kredisi kazandıracak tasarım kararlarının yangın risk değerlendirmesi sürecine erken aşamada dahil edilmesini sağlamaktır [13].

3. KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ YÜKSEK HALOKARBONLARIN İKAMESİ VE KULLANIMDAN AŞAMALI KALDIRILMASI

3.1. Montreal Protokolü ve Kigali Değişikliği

Halokarbon esaslı temiz söndürücü maddelerin regülasyon tarihi, 1987 yılında imzalanan Montreal Protokolü ile başlamıştır. Protokol, ozon tabakasını incelten Halon 1301 ve Halon 1211 gibi maddelerin küresel ölçekte üretimini ve tüketimini yasaklamış, bu da yangın korunum sektöründe ilk büyük paradigma değişikliğini tetiklemiştir [14]. Halonların yerini önce ozon tabakasına zarar vermeyen ancak yüksek GWP değerlerine sahip hidroflorokarbonlar (HFC'ler; örneğin HFC-227ea/FM-200 ve HFC-125) almıştır [15]. Ancak HFC'lerin sera gazı etkisinin fark edilmesiyle birlikte, 2016 yılında Kigali'de imzalanan ve Montreal Protokolü'ne ek olarak yürürlüğe giren Kigali Değişikliği , HFC üretim ve tüketiminin küresel ölçekte aşamalı olarak azaltılmasını öngörmüştür [16]. Değişikliğe göre, Amerika Birleşik Devletleri dahil gelişmiş ülkeler (Madde 5 dışı taraflar), 2036 yılına kadar HFC üretim ve tüketimlerini 2011-2013 baz dönemine göre %85 oranında azaltmakla yükümlüdür; gelişmekte olan ülkeler için ise 2045-2047 yılları arasında %80-85 azaltım hedefi belirlenmiştir [17]. Örnek vermek gerekirse, yaygın bir temiz söndürücü olan HFC-227ea'nın 1 kilogramı, GWP değeri yaklaşık 3.220-3.350 olduğundan, atmosfere salındığında 3,2-3,35 ton CO_2 eşdeğeri sera gazı etkisi yaratmaktadır [18].

3.2. Avrupa Birliği F-Gaz Tüzüğü (Regülasyon (AB) 2024/573)

Avrupa Birliği, Kigali Değişikliği'nin yükümlülüklerini ve Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın 2050 iklim nötrlüğü hedefini iç hukuka aktarmak amacıyla, 517/2014 sayılı önceki F-Gaz Tüzüğü'nü yürürlükten kaldırarak, 11 Mart 2024 tarihinde yürürlüğe giren (AB) 2024/573 sayılı yeni F-Gaz Tüzüğü'nü kabul etmiştir. Yeni tüzük, kapsamını 23 ek florlu gazı içerecek şekilde genişletmekte; kota tahsis sistemini sıkılaştırmakta ve belirli GWP eşiklerinin üzerindeki ekipmanların piyasaya sürülmesini yasaklamaktadır [19]. Yangın korunum sektörü açısından özellikle önemli olan husus, tüzüğün sızıntı kontrolü yükümlülüklerini de güncellemiş olmasıdır. 5 ton CO_2 eşdeğerinin üzerindeki florlu gaz içeren sabit yangın söndürme ekipmanları düzenli sızıntı kontrolüne tabi tutulmakta, kontrol periyotları ekipmanın CO_2 eşdeğeri miktarına göre kademelendirilmektedir [20]. Sektör paydaşları, HFC-227ea (FM-200) gibi yaygın kullanılan ajanların yeni tesislerde 2026 yılı gibi erken bir tarihte yasaklanabileceğini ve tam kaldırmanın 2032 yılına kadar öngörüldüğünü değerlendirmektedir, ancak bu tarihlerin nihai revizyon sürecine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır [21].

3.3. Türkiye'de Florlu Sera Gazlarına İlişkin Ulusal Düzenleme

Türkiye, Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi'ne ve Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü'ne 1991 yılında taraf olmuş; bu kapsamdaki ulusal ve uluslararası çalışmalar günümüzde Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. Protokolün 9-14 Ekim 2016 tarihlerinde Ruanda'nın Kigali kentinde gerçekleştirilen 28. Taraflar Toplantısı'nda, Türkiye heyetinin de katılımıyla kabul edilen Kigali Değişikliği, yüksek sera gazı etkisine sahip florlu sera gazlarını Montreal Protokolü'nün kontrol altına alınan maddeler listesine dahil etmiştir; bu değişiklik Türkiye'de Şubat 2022 itibarıyla yürürlüğe girmiştir. Değişiklik uyarınca, 2024 yılından itibaren yüksek GWP'li florlu sera gazlarının azaltımı ülkemizde de kademeli olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Bu çerçevede, florlu sera gazları ile diğer florlu maddelerin yönetimine ilişkin usul ve esasları belirleyen "Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik" revize edilerek 29.06.2022 tarihli ve 31881 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmış ve 4.01.2018 tarihli, 30291 sayılı önceki Yönetmeliği yürürlükten kaldırmıştır. Yönetmelik kapsamındaki florlu sera gazları öncelikle soğutma ve iklimlendirme sektöründe soğutucu akışkan olarak kullanılmakla birlikte, yangından korunma, ısı pompası, elektrikli şalt ve solvent sektörlerinde de kullanım alanı bulmaktadır, bu da HFC-227ea gibi gazlı temiz söndürücü maddeleri doğrudan kapsam içine almaktadır. Yönetmelik, tamamen ithalata dayalı bu gazlar için 2024 yılı itibarıyla kota uygulamasını başlatmış, yüksek GWP'li belirli gazlar için ekipman bazında kısıtlamalar getirmiş ve mevcut soğutma/iklimlendirme ekipmanları için periyodik sızıntı kontrollerini zorunlu hale getirmiştir [22]. Bu düzenleme, Türkiye'nin ulusal mevzuatını 3.2'de ele alınan AB F-Gaz Tüzüğü ile uyumlu bir aşamalı azaltım rotasına oturttuğunu, dolayısıyla Türkiye'de faaliyet gösteren yangın korunum sistemi üreticilerinin ve uygulayıcılarının da, HFC bazlı ajanlarda benzer bir kota kaynaklı arz ve fiyat riskiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir.

3.4. Amerika Birleşik Devletleri'nde AIM Yasası ve EPA SNAP Programı

Amerika Birleşik Devletleri'nde HFC azaltımı, Aralık 2020'de yürürlüğe giren American Innovation and Manufacturing Act (AIM Yasası) çerçevesinde yürütülmektedir. Yasa, Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) 2036 yılına kadar HFC üretim ve tüketimini %85 oranında azaltma yetkisi vermekte olup, 2022'de başlayan ilk %10'luk azaltım aşamasıyla uygulamaya girmiştir [23]. EPA, Temiz Hava Yasası'nın 612. maddesi kapsamında yürüttüğü Significant New Alternatives Policy (SNAP) Programı aracılığıyla, ozon tabakasını incelten maddelere ve yüksek GWP'li HFC'lere alternatif oluşturan maddeleri karşılaştırmalı risk çerçevesinde değerlendirmekte; bu maddeleri "kabul edilebilir", "koşullu kabul edilebilir" veya "kabul edilemez" olarak sınıflandırmaktadır [24]. Toplam alan söndürme (total flooding) uygulamalarında kullanılan ajanlar için temel referans dokümanlar, NFPA 2001 Temiz Söndürücü Ajan Söndürme Sistemleri Standardı ve uluslararası düzeyde ISO 14520 standardıdır [25][26]. AIM Yasası, askeri söndürme uygulamaları gibi sınırlı sayıda "temel kullanım" alanına istisna tanısa da, sektörün genelinde HFC bazlı söndürücülere olan bağımlılığın azaltılması yönünde net bir yönelim bulunmaktadır.

3.5. Alternatif Temiz Söndürücüler: Floroketonlar ve İnert Gaz Sistemleri

Yüksek GWP'li HFC'lere karşı geliştirilen en önemli kimyasal alternatiflerden biri, dodekaflor-2-metilpentan-3-on (ticari eski adıyla 3M Novec 1230 fluid, genel adıyla FK-5-1-12) floroketon bileşiğidir. FK-5-1-12'nin GWP değeri 1'in altındayken, HFC-227ea'nın GWP değeri 3.000'in üzerindedir, bu da FK-5-1-12'nin deşarjı halinde sera gazı emisyonunun HFC bazlı ajanlara kıyasla %99,9'un üzerinde azaldığı anlamına gelmektedir [27]. FK-5-1-12, oda sıcaklığında sıvı halde bulunması, düşük buhar basıncı ve depolama/taşıma kolaylığı gibi avantajlar sunmakta, ayrıca yüksek insan güvenliği marjı (NOAEL ile tasarım konsantrasyonu arasında geniş fark) nedeniyle normalde insan bulunduran alanlarda kullanıma uygun kabul edilmektedir. Bununla

birlikte, FK-5-1-12'nin patent süresinin 2020 yılında sona ermesiyle birlikte üretici sayısı artmış ve piyasada kimyasal olarak özdeş alternatif ürünler yer almaya başlamıştır [27]. Ayrı bir alternatif kategori olarak, azot ve argon karışımlarından oluşan inert gaz sistemleri (yani IG-100, IG-01, IG-541, IG-55) sıfır ODP ve sıfır GWP değerleriyle öne çıkmaktadır. Bu sistemlerin depolama basıncının yüksek olması, daha büyük silindir hacmine ve yer ihtiyacına yol açmaktadır.

Tablo 1. Belirli temiz söndürücü gazların çevresel ve fiziksel özellikleri [18][15][26]

Söndürücü	ODP	GWP (100 yıl)	Fiziksel Hal	Tipik Tasarım Konsantrasyonu
Halon 1301	≈10–16	≈7.140	Gaz (kullanımdan kaldırılmıştır)	—
HFC-227ea (FM-200)	0	≈3.220–3.350	Basınç altında sıvılaştırılmış gaz	≈%7–9 (h/h)
FK-5-1-12 (Novec 1230)	0	<1	Sıvı (oda sıcaklığında)	≈%4,5–6 (h/h)
IG-541 (Inergen)	0	0	Gaz (N2/Ar/CO2 karışımı)	≈%36–42 (h/h)

Önemle belirtilmesi gereken bir husus, FK-5-1-12 gibi floroketon bileşiklerinin, moleküler yapılarında flor-karbon bağı içermeleri nedeniyle OECD›nin geniş kapsamlı PFAS tanımına dahil edilebilecek olmasıdır [27]. Bu durum, dördüncü bölümde ele alınacak PFAS düzenlemelerinin, orta-uzun vadede yalnızca köpüklü söndürme sistemlerini değil, gazlı temiz söndürücü ajanları da etkileyebileceği anlamına gelmekte ve sektörde «istenmeyen ikame» (regrettable substitution) oluşturması riskine dikkat çekmektedir.

4. PFAS DÜZENLEMELERİNİN KÖPÜK SİSTEM SEÇİMİ VE PERFORMANSINA ETKİSİ

4.1. AFFF Köpüklerin PFAS İçeriği

Akıcı film oluşturan köpükler (Aqueous Film-Forming Foam, AFFF), 1970'li yıllardan bu yana B sınıfı tutuşablir sıvı yangınlarında, yakıt yüzeyi üzerinde buhar geçirmez bir film ve köpük tabakası oluşturarak söndürme sağlayan, havacılık, petrokimya tesisleri ve askeri uygulamalarda standart haline gelmiş bir teknolojidir [28]. Bu etkinliğin temel kaynağı, florlu yüzey aktif maddelerin (surfaktan) düşük yüzey gerilimi ve yüksek yakıt itme özelliğiydi [29]. Aynı özellikler, yani kimyasal ve biyolojik parçalanmaya karşı olağanüstü direnç, bu maddeleri çevrede kalıcı kimyasallar haline getirmektedir. PFAS bileşikleri, özellikle söndürme tatbikatları ve eğitim faaliyetleri sırasında toprağa ve yeraltı sularına karışarak kalıcı kirlilik oluşturmakta, itfaiyeciler hem eğitim hem de gerçek müdahale sırasında yoğun maruziyete tabi olmaktadır [30]. Bu bulgular, PFAS'ın insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin bilimsel kanıtların birikmesiyle birlikte, küresel ölçekte hızlı bir düzenleyici tepkiyi tetiklemiştir.

4.2. Küresel Düzenleyici Manzara: ECHA/REACH ve ABD Uygulamaları

Avrupa Kimyasallar Ajansı (ECHA), 2022 yılında köpüklü söndürme sistemlerinde kullanılan tüm PFAS bileşiklerinin AB genelinde kısıtlanmasına yönelik bir öneri sunmuştur. Ajansın Risk Değerlendirme Komitesi (RAC), Mart 2023'te bu öneriyi desteklediğini açıklamıştır. Sosyo-Ekonomik Analiz Komitesi (SEAC) ise Haziran 2023'te, kısıtlamanın 30 yıllık bir dönemde çevreye salınan PFAS miktarını yaklaşık 13.200 ton azaltabileceğini belirten nihai görüşünü kabul etmiştir [31][32]. Bu süreç, Avrupa Komisyonu'nun Ekim 2025'te REACH Tüzüğü'nün Ek XVII listesine 82 numaralı girdiyi ekleyen (AB) 2025/1988 sayılı Komisyon Regülasyonu'nu kabul etmesiyle sonuçlanmıştır [33][34]. Düzenleme, köpüklü söndürme sistemlerinde PFAS için 1 mg/kg'lık kesin bir sınır değeri getirmekte ve kısıtlamanın Ekim 2026'dan itibaren, taşınabilir yangın

söndürücülerdeki PFAS yasağıyla başlayarak kademeli şekilde uygulanmasını öngörmektedir. Genel geçiş süresi beş yıl olmakla birlikte, eğitim ve test tatbikatları için 18 ay gibi daha kısa, Seveso Direktifi kapsamındaki büyük endüstriyel tesisler için ise incelemeye bağlı olarak 10 yıla kadar uzayabilen sektöre özgü geçiş süreleri tanımlanmıştır [35].

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise düzenleme, federal ve eyalet düzeyinde paralel şekilde ilerlemektedir. 2020 Ulusal Savunma Yetkilendirme Yasası hükümleri uyarınca, Savunma Bakanlığı'nın (DOD) kara tesislerinde PFAS içeren AFFF kullanımını Ekim 2024'e kadar sonlandırması, belirli koşullarda 2026'ya kadar uzatılabilen sınırlı muafiyetler tanınması öngörülmüştür. Bu geçiş, MIL-PRF-24385 askeri şartnamesinin florsuz formülasyonlara uygun şekilde revize edilmesini de beraberinde getirmiştir. Federal düzeyin ötesinde, çok sayıda eyalet, AFFF'nin eğitim ve tatbikat amaçlı kullanımını kısıtlayan, bertaraf ve envanter bildirim yükümlülüğü getiren ve PFAS içeren kişisel koruyucu ekipmanları sınırlayan kendi mevzuatlarını yürürlüğe koymuştur [36].

Tablo 2. Yangın korunum sektörünü ilgilendiren başlıca düzenleyici kilometre taşları

Yıl	Düzenleme / Olay	Kapsam
1987	Montreal Protokolü	Ozon tabakasını incelten maddelerin (halonlar dahil) küresel kaldırılması
2016	Kigali Değişikliği	HFC üretim/tüketiminin küresel ölçekte kademeli azaltımı
2020	ABD AIM Yasası	EPA'ya 2036'ya kadar HFC'lerde %85 azaltım yetkisi
2022 (Şubat)	Kigali Değişikliği'nin Türkiye'de yürürlüğe girişi	Ulusal kademeli HFC azaltım sürecinin başlaması
2022 (Haziran)	TR Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik (RG 31881)	Ulusal F-gaz kota ve periyodik sızıntı kontrol rejimi
2024 (Mart)	AB (AB) 2024/573 F-Gaz Tüzüğü'nün yürürlüğe girişi	Kota sıkılaştırma, GWP eşiği bazlı ekipman yasakları
2024 (Ekim)	ABD DOD kara tesislerinde AFFF kullanımının sonlandırılması	PFAS'lı köpükten florsuz köpüğe zorunlu geçiş
2025 (Ekim)	AB Komisyon Regülasyonu 2025/1988 (REACH Ek XVII)	Söndürme köpüklerinde PFAS için 1 mg/kg sınır değeri

4.3. Florsuz Köpükler (SFFF): Performans Karşılaştırması ve Operasyonel Zorluklar

PFAS düzenlemelerinin doğrudan sonucu, sektörün florsuz köpük (SFFF) teknolojilerine yönelmesidir. Ancak literatürdeki karşılaştırmalı performans çalışmaları, bu geçişin teknik açıdan basit bir "bire bir ikame" olmadığını göstermektedir. Fire Technology dergisinde yayımlanan kapsamlı bir deneysel çalışmada, ticari olarak temin edilebilen beş florsuz köpüğün söndürme etkinliği, alkole dirençli AFFF (AR-AFFF) referans köpüğüyle karşılaştırılmıştır [37]. Sonuçlara göre, bazı florsuz köpükler heptan gibi hidrokarbon yakıtlarda tatmin edici performans gösterse de, izopropil alkol ve benzin gibi daha zorlu yakıt türlerinde referans köpüğün gerisinde kalmıştır.est edilen florsuz ürünlerin karşılaştırılabilir bir söndürme performansı elde edebilmesi için, referans AR-AFFF'ye kıyasla 1,5 ile 3 kat daha yüksek uygulama debisine ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir [37]. Benzer bulgular, Fire Protection Research Foundation tarafından desteklenen ayrı bir çalışmada da doğrulanmıştır [38].

Bu performans farkının teknik kökeni, florlu yüzey aktif maddelerin güçlü yakıt itici özelliğine karşılık, hidrokarbon esaslı yüzey aktif maddelerin yakıta karşı daha yüksek çözünürlük göstermesi ve bu nedenle köpük tabakasının daha hızlı bozulmasıdır. Sonuç olarak, aynı risk/yanıcı sıvı sınıfı için tasarlanan bir florsuz köpük sisteminin, daha büyük konsantre depolama tankına, daha yüksek kapasiteli pompa grubuna ve daha büyük solüsyon boru çapına ihtiyaç duyması olasıdır. Bu durum, örneğin ikinci bölümde ele alınan su/enerji

verimliliği hedefleriyle doğrudan çatışma yaratmaktadır. Ayrıca mevcut AFFF sistemlerinin florsuz ürünlere dönüştürülmesi sırasında, sistemde kalan PFAS kalıntılarının tam olarak temizlenmesinin güçlüğü, durulama suyunun bertaraf yükümlülüğü, NFPA 11 [39] standardında ve ilgili FM Global kılavuzlarında oranlayıcı, köpük oranlama/depolama sistemi ve uç cihazların yeni köpükle sistem onayına sahip (listed) olması zorunluluğu, geçiş sürecini teknik ve operasyonel açıdan karmaşıklaştırmaktadır [40].

Öte yandan, EPA›nın konuyla ilgili değerlendirmesinde de vurgulandığı gibi, florsuz alternatiflere geçiş süreci karmaşık ve çok boyutlu olup dikkatli bir fayda-maliyet değerlendirmesi gerektirmektedir [41]. Malzeme bilimi alanındaki güncel araştırmalar, silika aerojel ve selüloz türevi stabilizatörler kullanan yeni nesil florsuz formülasyonların, ısıl dayanıklılık ve yeniden alevlenme direnci açısından AFFF'ye yaklaşan sonuçlar verdiğini göstermektedir, bu da orta vadede performans açığının daralabileceğine işaret etmektedir [42]. Bununla birlikte, mevcut düzenleyici takvim göz önüne alındığında, özellikle havacılık ve petrokimya sektöründeki yangın korunum sistemi tasarımcılarının, florsuz köpüklerin performans sınırlarını nominal tasarım debisiyle değil, güncel sistem onayları ve muteber üreticilerin test verileriyle doğrulayarak hesaplamaları büyük önem taşımaktadır.

5. YANGIN KORUNUM SİSTEMİ SEÇİMİNDE BÜTÜNCÜL DEĞERLENDİRME

Bir yangın korunum mühendisinin bugün karşı karşıya olduğu problem, tek bir teknik kriter yerine, en az dört boyutu eş zamanlı optimize etmeyi gerektiren çok kriterli bir karar problemi olabilecektir:
(i) NFPA, EN ve benzeri standartlarınca tanımlanan yaşam güvenliği ve mülk koruma performansı
(ii) F-Gaz Tüzüğü, AIM Yasası ve REACH gibi düzenlemelere uzun vadeli uyumluluk
(iii) LEED/BREEAM gibi sertifikasyon sistemlerinden elde edilecek kredi değeri
(iv) söndürücü tedarik riski, kota tahsisi kaynaklı fiyat oynaklığı ve sistem ömrü boyunca toplam sahip olma maliyeti.

Bu dört boyut arasında zaman zaman doğrudan çelişkiler ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, PFAS kısıtlamaları nedeniyle florsuz köpüğe geçen bir petrokimya tesisi, dördüncü bölümde açıklandığı üzere daha yüksek uygulama debisine ihtiyaç duyacak, bu da daha büyük pompa grubu ve daha fazla su tüketimi anlamına gelecektir. Bu durum, ikinci bölümde tartışılan LEED su verimliliği hedefleriyle doğrudan çatışma yaratmaktadır. Benzer şekilde, düşük GWP'li floroketon ajanlarının bazı geniş kapsamlı PFAS tanımlarına girebilme olasılığı, üçüncü ve dördüncü bölümlerde işaret edilen "istenmeyen ikame" riskinin somut bir örneğidir. Bugün HFC'lere göre çevresel açıdan üstün kabul edilen bir çözüm, yarın farklı bir düzenleyici çerçevede yeniden değerlendirmeye tabi tutulabilir. ECHA'nın kendi risk değerlendirme sürecinde bu kavramı açıkça telaffuz etmiş olması, düzenleyicilerin de bu riskin farkında olduğunu göstermektedir [33].

Bu belirsizlik ortamında, sistem seçiminde yalnızca mevcut mevzuata uyumu değil, düzenleyici ufku da dikkate alan bir yaklaşım önerilmektedir. Pratik bir değerlendirme çerçevesi şu unsurları içermelidir:
(a) seçilen söndürücü veya teknolojinin, hem mevcut hem de taslak/öneri aşamasındaki mevzuata karşı konumunun düzenli olarak gözden geçirilmesi;
(b) sistem seçiminin, yalnızca nominal tasarım parametreleriyle değil güncel bağımsız test verileriyle doğrulanması;
(c) söndürücü tedarik sürekliliğinin, kota tahsis takvimleri ve üretici sayısı çeşitliliği açısından değerlendirilmesi;
(d) sürdürülebilirlik kredisi hedeflenen projelerde, yangın korunum sisteminin su/enerji ayak izinin proje erken tasarım aşamasında sertifikasyon danışmanı ile tartışılması.

Bu dört unsur, sistem ömrü boyunca hem yasal uyumluluk hem de sürdürülebilirlik performansı açısından öngörülebilirlik sağlayacaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, yangın korunum sistemlerinin seçiminde geleneksel teknik performans kriterlerinin yanına eklenen üç düzenleyici-sürdürülebilirlik ekseni, yeşil bina sertifikasyon sistemleri, yüksek GWP'li halokarbonların aşamalı kaldırılması ve PFAS kısıtlamaları, güncel mevzuat metinleri ve literatür ışığında incelenmiştir. Elde edilen bulgular, sektörün son on yılda teknik bir mühendislik disiplini olmanın ötesine geçerek, çevre hukuku ve sürdürülebilirlik politikalarıyla derinden iç içe geçmiş bir alana dönüştüğünü ortaya koymaktadır.

LEED ve BREEAM gibi sertifikasyon sistemleri, su ve enerji verimliliği kriterleri aracılığıyla su sisi gibi düşük su tüketimli teknolojileri teşvik ederken, aynı zamanda sürdürülebilir tasarım unsurlarının yangın riskini artırabileceği hususunda dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Montreal Protokolü'nün Kigali Değişikliği ve AB F-Gaz Tüzüğü ile somutlaşan halokarbon aşamalı kaldırma süreci, gazlı temiz söndürücü piyasasını floroketon ve inert gaz teknolojilerine doğru kalıcı biçimde yönlendirmiş; ancak bu geçişin kendisinin de yeni düzenleyici belirsizlikler barındırdığı görülmüştür. PFAS kısıtlamaları ise köpüklü söndürme sektöründe hem hızlı hem de teknik açıdan zorlayıcı bir dönüşüme yol açmakta, florsuz köpüklerin performans açığı, sistem tasarım parametrelerinin yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Sonuç olarak, yangın korunum sistemi seçimi artık statik bir mühendislik kararı yerine düzenli olarak güncellenmesi gereken dinamik bir risk yönetimi süreci haline gelmiştir. Gelecekteki çalışmalar için, farklı yangın korunum teknolojilerinin su, enerji ve PFAS/GWP ayak izini birlikte değerlendiren bütünleşik yaşam döngüsü analizlerinin geliştirilmesi ve NFPA/EN standartları ile yeşil bina sertifikasyon kriterlerinin uyumlaştırılmasına yönelik teknik kılavuzların oluşturulması, sektörün ihtiyaç duyduğu öncelikli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır.

7. KAYNAKLAR

[1] "Comparative Assessment of LEED, BREEAM, and WELL: Advancing Sustainable Built Environments", Energies, Cilt 18, Sayı 16, Madde No: 4322, 2025. https://www.mdpi.com/1996-1073/18/16/4322

[2] "Modern Green-Building Fire Protection", HPAC Engineering. https://www.hpac.com/archive/article/20925699/modern-green-building-fire-protection

[3] Newberg, C., "Update on Kigali Amendment to the Montreal Protocol", U.S. EPA Office of Atmospheric Programs, Aralık 2016. https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-11/documents/newberg_kigaliamend_122016.pdf

[4] Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, "Regülasyon (AB) 2024/573 – Florlu Sera Gazları Hakkında", Avrupa Birliği Resmî Gazetesi, 2024.

[5] ECHA, "Proposal to Ban 'Forever Chemicals' in Firefighting Foams throughout the EU", 2022. https://echa.europa.eu/-/proposal-to-ban-forever-chemicals-in-firefighting-foams-throughout-the-eu

[6] U.S. Government Accountability Office, "Firefighting Foam: DOD Is Working to Address Challenges to Transitioning", GAO-24-107322, 2024. https://www.gao.gov/assets/gao-24-107322.pdf

[7] Royal HaskoningDHV, "BREEAM and LEED Certification", 2025. https://www.haskoning.com/en/services/breeam-and-leed-certification

[8] Control Fire Systems Ltd., "How Fire Suppression Systems Help Meet LEED & Green Building Certifications", 2024. https://www.controlfiresystems.com/news/how-fire-suppression-systems-help-meet-leed-green-building-certification/

[9] LEEDuser / BuildingGreen, "Are Fire Sprinklers Exempt?", tartışma forumu. https://leeduser.buildinggreen.com/forum/are-fire-sprinklers-exempt

[10] A&A Fire Protection, "What to Know About Installing Fire Sprinklers in LEED-Certified Buildings", 2025.

https://www.aandafireprotection.com/what-to-know-about-installing-fire-sprinklers-in-leed-certified-buildings/

[11] "Environmentally Friendly Fire Protection", Fire Protection Blog, 2019. https://fireprotectionblog.com/environmentally-friendly-fire-protection/

[12] NFPA, "NFPA 750: Standard on Water Mist Fire Protection Systems", National Fire Protection Association, 2023 Baskısı.

[13] Meacham, B., McNamee, M., "Fire Safety Challenges of 'Green' Buildings and Attributes", Fire Protection Research Foundation, NFPA, 2021. https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2021/03/IS-2021-68.pdf

[14] UNEP, "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer", Birleşmiş Milletler Çevre Programı, 1987 (değişiklikleriyle birlikte).

[15] "HFC-based Clean Fire Extinguishing Agents: Implications of Recent Legislation", International Fire Protection / Gulf Fire, 2017. https://gulffire.com/hfc-based-clean-fire-extinguishing-agents-implications-of-recent-legislation/

[16] UNEP, "Kigali Amendment to the Montreal Protocol", Birleşmiş Milletler Çevre Programı, 2016.

[17] Congressional Research Service, "Hydrofluorocarbon Phasedown: Background and Issues Facing Congress", IF11779, Library of Congress, 2025.

[18] 3M, "3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid – Technical Data", 2018.

[19] Enviropass, "The F-Gas Regulation", 2026. https://getenviropass.com/f-gas/

[20] Euralarm, "Guidance on Fluorinated Gases (F-gas) Regulation 2024/573", 2025.

[21] DSPA, "Sustainability Can't Be an Afterthought" (Novec/FM-200/PFAS Aşamalı Kaldırma Raporu), 2025. https://www.dspa.nl/white-papers/phase-out-novec-fm200-pfas

[22] T.C. İklim Değişikliği Başkanlığı / T.C. Resmî Gazete, "Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik", 29.06.2022 tarihli ve 31881 sayılı Resmî Gazete (4.01.2018 tarihli ve 30291 sayılı önceki Yönetmeliği yürürlükten kaldırmıştır), 2022.

[23] U.S. EPA, "Substitutes in Total Flooding Agents", SNAP Programı. https://www.epa.gov/snap/substitutes-total-flooding-agents

[24] U.S. EPA, "Substitutes in Fire Suppression and Explosion Protection", Significant New Alternatives Policy (SNAP) Programı. https://epa.gov/snap/substitutes-fire-suppression-and-explosion-protection

[25] NFPA, "NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems", National Fire Protection Association, 2022 Baskısı.

[26] ISO, "ISO 14520: Gaseous Fire-Extinguishing Systems – Physical Properties and System Design", International Organization for Standardization, 2015.

[27] Western States Fire Protection, "Transitioning from NOVEC 1230 to FK-5-1-12: What You Need to Know", 2025. https://www.wsfp.com/transitioning-from-novec-1230/

[28] U.S. Fire Administration (FEMA), "Firefighting Foams: PFAS vs. Fluorine-Free Foams", 2023. https://www.usfa.fema.gov/blog/firefighting-foams-pfas-vs-fluorine-free-foams/

[29] "Exploring the Prospects and Challenges of Fluorine-Free Firefighting Foams (F3) as Alternatives to Aqueous Film-Forming Foams (AFFF): A Review", ACS Omega, 2024. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11391440/

[30] Fire Protection Research Foundation, "Firefighting Foams: Fire Service Roadmap – Phase 1", NFPA, 2022. https://content.nfpa.org/-/media/Project/Storefront/Catalog/Files/Research/Research-Foundation/Reports/Emergency-responders/foam-roadmap/FPRF-Foam-Roadmap-Phase-1-2022.pdf

[31] ECHA, "ECHA's Risk Assessment Committee Backs PFAS Ban in Firefighting Foams", 2023. https://echa.europa.eu/-/echa-s-risk-assessment-committee-backs-pfas-ban-in-firefighting-foams

[32] ECHA, "ECHA's Committees: EU-wide PFAS Ban in Firefighting Foams Warranted", 2023. https://echa.europa.eu/-/echa-s-committees-eu-wide-pfas-ban-in-firefighting-foams-warranted

[33] Avrupa Komisyonu, “Komisyon Regülasyonu (AB) 2025/1988”, Avrupa Birliği Resmî Gazetesi, 2025. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32025R1988

[34] ECHA, “Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)”, Hot Topics. https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas

[35] ChemSafe Consulting, “May Regulatory Updates”, 2025. https://www.chemsafe-consulting.com/blog/may-regulatory-updates-4/

[36] Bryan Cave Leighton Paisner (BCLP), “PFAS in Firefighting Foam (AFFF) and Equipment: State-by-State Regulations”, 2025. https://www.bclplaw.com/en-US/events-insights-news/pfas-in-firefighting-foam-afff-and-equipment-state-by-state-regulations.html

[37] Back, G.G., “An Evaluation of the Firefighting Effectiveness of Fluorine-Free Foams”, Fire Technology, Cilt 59, s. 3107-3136, 2023. https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-020-01051-4

[38] Fire Protection Research Foundation / IAFC, “Evaluation of the Fire Protection Effectiveness of Fluorine-Free Firefighting Foams”, 2020. https://www.iafc.org/docs/default-source/1safehealthshs/effectivenessofflourinefreefoam.pdf

[39] NFPA, “NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam”, National Fire Protection Association, 2021 Baskısı.

[40] Argus Companies, “PFAS Firefighting Foam Transition”, 2025. https://argusco.com/pfas-fire-fighting-foams/

[41] U.S. EPA, “Sunrise of PFAS Replacements: A Perspective on Fluorine-Free Foams”, Science Inventory, CESER, 2024. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryId=357994&Lab=CESER

[42] “Preparation and Performance Study of a High-Stability Fluorine-Free Foam Based on Silica Aerogel and Hydroxyethyl Methyl Cellulose”, ScienceDirect, 2026. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037971122600189X

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Arslan

Yusuf Arslan, 15 yılı aşkın deneyime sahip bir yangın korunum mühendisidir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2006 yılında mezun olarak lisans derecesine sahiptir ve İstanbul›da yaşamaktadır. Viking Türkiye’de Teknik Destek Yöneticisi olarak görev yapmakta, bölge genelinde teknik destek operasyonlarını, ürün ve sistem eğitimlerini yönetmekte ve sprinkler, su sisi, gaz ve köpük söndürme sistemleri konusunda kullanıcı ve uygulayıcılara uzman rehberlik sağlamaktadır.

Ayrıca, NFPA Onaylı Eğitmen olan Yusuf, NFPA AEN yetkili eğitim sağlayıcıları aracılığıyla Avrupa’da Resmi NFPA Standart eğitimleri vermekte ve profesyonel yaşamının önemli bir bölümünü Türkiye ve Avrupa bölgesindeki yangın korunum uygulayıcılarının teknik yeterliliğini artırmaya adamaktadır. 2012 yılından bu yana MMO Yangın Tesisat Mühendisi Yetki Belgesine sahiptir ve sprinkler sistemlerinde korozyon, yeraltı madencilik tesislerinde yangın güvenliği, havacılık tesislerinde yangından korunum, yanıcı/parlayıcı kimyasal depolama ve çatı üstü fotovoltaik enerji uygulamalarında yangın riskleri gibi özel konuları kapsayan çeşitli çalışmaların yazarıdır.

Teknik çalışmalarına ek olarak Yusuf ARSLAN , Uluslararası Yangın Korunum Mühendisleri Derneği SFPE’nin Profesyonel üyesi olup, SFPE Türkiye Topluluğu Sekreteri ve Saymanı olarak görev yapmakta ve topluluğun kurulmasına ve Derneğin misyonunun ülke genelinde ilerletilmesine aktif olarak katkıda bulunmaktadır. Makine Mühendisleri Odası İstanbul Şube Yangın Güvenlik Komisyonu Başkanı ve Türkiye Yangın Koruma Derneği’nin çeşitli teknik komitelerinde üye olarak görev yapmaktadır.

YENİ YANGIN YÖNETMELİĞİ KAPSAMINDA ÇEVRE DOSTU YANGIN SÖNDÜRME TEKNOLOJİLERİNE GEÇİŞ: SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YÜKSEK PERFORMANSLI YAKLAŞIMLAR

Transition to Environmentally Friendly Technologies in Fire Suppression Systems Within the Scope of the New Fire Regulation: Sustainable and High-Performance Approaches

Kübra ÖZCAN

ÖZET

Geleneksel yangın söndürme sistemlerinde kullanılan kimyasal ajanların çevresel etkileri ve artan regülasyon baskıları, sektörde çevre dostu alternatiflere geçişi zorunlu hale getirmektedir. Bu çalışma, yangın güvenliği alanında sürdürülebilir sistemlere geçiş sürecini teknik açıdan değerlendirmektedir.

Mevcut söndürme sistemlerinin çevresel etkileri analiz edilmiş; düşük toksisiteye sahip, biyobozunur ve az kalıntı bırakan alternatif formülasyonlar incelenmiştir. Su bazlı sistemler, potasyum tuzları içeren çözümler ve yeni nesil ajanlar performans açısından karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgular, uygun formülasyon ve sistem tasarımı ile çevre dostu çözümlerin geleneksel sistemlere alternatif olabilecek düzeyde etkinlik sağlayabildiğini göstermektedir. Bu dönüşümün hem çevresel hem de operasyonel açıdan uygulanabilir olduğu ortaya konulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yangın söndürme, çevre dostu ajanlar, sürdürülebilirlik, biyobozunur sistemler

Transition to Environmentally Friendly Technologies in Fire Suppression Systems Within the Scope of the New Fire Regulation: Sustainable and High-Performance Approaches

ABSTRACT

The environmental impact of chemical agents used in conventional fire suppression systems and increasing regulatory pressure have made the transition to eco-friendly alternatives inevitable. This study evaluates the transition toward sustainable fire suppression systems from a technical perspective.

The environmental impacts of existing systems were analyzed, and alternative formulations with low toxicity, biodegradability, and minimal residue were investigated. Water-based systems, potassium salt-based

solutions, and next-generation agents were compared in terms of performance.

The findings show that, with appropriate formulation and system design, eco-friendly solutions can achieve performance levels comparable to conventional systems. This transformation is feasible both environmentally and operationally.

Keywords: Fire suppression, eco-friendly agents, sustainability, biodegradable systems

1. GİRİŞ

Endüstriyel tesislerin karmaşıklaşması, enerji yoğun proseslerin artması ve üretim sürekliliğinin kritik hale gelmesi, yangın güvenliğini yalnızca can güvenliği konusu olmaktan çıkararak işletme sürdürülebilirliğinin temel unsurlarından biri haline getirmiştir. Geleneksel söndürme ajanlarının bir bölümü yüksek söndürme etkinliği sağlarken atmosferik kalıcılık, toksik bozunma ürünleri, kalıntı, temizlik ve bertaraf maliyetleri açısından dezavantaj oluşturabilmektedir. Bu nedenle yeni nesil tasarım yaklaşımı, "en hızlı söndüren ajan" yerine "tehlikeye uygun, doğrulanmış performansa sahip ve yaşam döngüsü etkisi düşük sistem" seçimini esas almaktadır.

Sürdürülebilirlik değerlendirmesinde ODP ve GWP değerleri önemli olmakla birlikte tek başına yeterli değildir. Sulu ve iyonik formülasyonlarda uçuculuk düşük olduğu için doğrudan atmosferik etki genellikle sınırlıdır; buna karşılık yüksek tuzluluk, pH, metal uyumluluğu, atık su yükü ve yüzey kalıntısı dikkate alınmalıdır. Bu çalışma, potasyum tuzu bazlı ajanları bu çok ölçütlü çerçeve içinde ele almaktadır.

2. MEVCUT SİSTEMLERİN ÇEVRESEL VE TEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

Yangın söndürme ajanları, yangın sınıfı ve korunacak varlıkla birlikte değerlendirilmelidir. Gazlı temiz ajanlar elektronik hacimlerde kalıntısız müdahale avantajı sunarken sızdırmazlık ve boşalma sonrası güvenlik gerektirir. Su sisi yüksek ısı çekişi ve düşük su tüketimi avantajına sahiptir; ancak nozul yerleşimi, engeller ve havalandırma koşulları kritik tasarım parametreleridir. Köpük konsantreleri hidrokarbon ve polar solvent yangınlarında yüzey örtüsü oluşturarak buhar çıkışını sınırlar; performansları genleşme oranı, drenaj, yangın kontrolü ve geri yanma dayanımı ile değerlendirilir. Islak kimyasal potasyum tuzu çözeltileri ise özellikle yüksek sıcaklıktaki pişirme yağları için geliştirilmiştir.

Tablo 1. Söndürme ajanlarının çevresel ve operasyonel karşılaştırması

Ajan tipi	Başlıca uygun tehlike	Atmosferik etki	Kalıntı / temizlik	Kritik performans ölçütü
HFC/HFK temelli gazlar	Kapalı hacim, ekipman	Bazı türlerde yüksek GWP	Kalıntısız	Tasarım konsantrasyonu, bekletme süresi
İnert gazlar	Kapalı hacim	ODP=0, GWP≈0	Kalıntısız	Oksijen düşürme, hacim sızdırmazlığı
Su sisi	A/B ve makine hacimleri	Doğrudan düşük	Düşük	Damlacık boyutu, akı yoğunluğu, engeller
Köpük konsantreleri	B sınıfı sıvı yakıtlar	Formülasyona bağlı	Orta	Söndürme, drenaj, geri yanma
Potasyum tuzu ıslak kimyasal	F/K sınıfı pişirme yağları	Uçucu değildir; ODP/GWP beklenmez	Sulu tuz kalıntısı	Soğutma, yüzey örtüsü, yeniden tutuşma kontrolü

3. POTASYUM TUZU BAZLI ISLAK KİMYASAL AJANLAR

3.1. Kimyasal Bileşim ve Etki Mekanizması

Islak kimyasal ajanlar genellikle su içinde çözünmüş potasyum asetat, potasyum sitrat ve/veya potasyum karbonat tuzlarından oluşur. Su fazı yüksek özgül ısısı ve buharlaşma ısısı sayesinde yakıt ve pişirme ekipmanından ısı çeker. Potasyum tuzları, özellikle serbest yağ asidi ve trigliserit içeren sıcak yağ yüzeyinde sabun benzeri yüzey aktif ürünlerin oluşumunu destekleyerek yakıt-hava ara yüzünde koruyucu bir tabaka meydana getirebilir. Bu etki çoğu uygulamada "saponifikasyon" olarak adlandırılır. Oluşan örtü, yanıcı buhar çıkışını ve oksijen temasını azaltırken sulu faz sürekli soğutma sağlar.

Bu mekanizma heptan, benzin veya diğer hidrokarbonlar için aynı biçimde geçerli değildir; çünkü bu yakıtlar sabunlaşabilir yağ asidi esterleri içermez. Dolayısıyla potasyum tuzunun pişirme yağı yangınındaki başarısı, doğrudan B sınıfı heptan yangını performansı olarak yorumlanmamalıdır. Hidrokarbon yangınlarında performans, köpük filmi ve köpük örtüsünün kararlılığı, yakıt kontaminasyonu, drenaj ve geri yanma dayanımı gibi parametrelerle ayrıca doğrulanmalıdır.

3.2. Potasyum Tuzlarının Karşılaştırmalı Performansı

Potasyum tuzu	Formülasyondaki işlev	Teknik avantaj	Dikkat edilmesi gereken husus
Potasyum asetat	Yüksek çözünürlüklü aktif tuz; donma noktasını düşürmeye yardımcı olur	Düşük sıcaklıkta akışkanlık, hızlı yüzey yayılımı, ticari ıslak kimyasal sistemlerde yaygın kullanım	Higroskopisite, iletken kalıntı, metal uyumluluğu
Potasyum sitrat	Tamponlama ve iyonik güç; yüzey örtüsünün desteklenmesi	Daha dengeli pH tasarımı, formülasyon stabilitesi	Konsantrasyona bağlı viskozite artışı ve kristallenme riski
Potasyum karbonat	Alkalinite ve sabunlaşma reaksiyonuna katkı	Yağ asitleriyle hızlı reaksiyon potansiyeli, ekonomik hammadde	Yüksek pH, koroziflik, cilt/göz teması riski, bazı metallerde uyumluluk sorunu
Karışım sistemleri	Çözünürlük-pH-donma noktası-performans optimizasyonu	Tek bir tuza göre daha dengeli performans	Uzun dönem stabilite ve nozul tıkanması testleri zorunludur

3.3. Performansı Belirleyen Parametreler

Tuz konsantrasyonu ve aktif madde oranı: Düşük konsantrasyon yüzey örtüsünün oluşmasını geciktirebilir; aşırı konsantrasyon ise viskoziteyi yükselterek püskürtme karakteristiğini bozabilir. Optimum değer, laboratuvar formülasyonundan ziyade gerçek nozul ve gerçek yakıt sıcaklığı ile doğrulanmalıdır.

pH ve alkalinite: Saponifikasyon eğilimini artırabilir; ancak yüksek pH personel güvenliği, ekipman korozyonu ve yüzey temizliği açısından sınırlandırılmalıdır.

Viskozite ve yoğunluk: Pompa seçimi, sifon tüpü akışı, nozul debisi ve damlacık spektrumu üzerinde doğrudan etkilidir. Sıcaklık değişimiyle birlikte ölçülmelidir.

Yüzey gerilimi ve ıslatma: Ajanın sıcak yağ yüzeyine yayılmasını ve sürekli örtü oluşturmasını belirler. Uygun yüzey aktif madde seçimi, köpürme ile stabil yayılım arasında denge kurmalıdır.

Nozul ve damlacık dağılımı: İnce damlacıklar ısı transferini artırır; ancak çok yüksek momentum yağ sıçramasına yol açabilir. Bu nedenle ıslak kimyasal sistemlerde kontrollü, yumuşak püskürtme kritik önemdedir.

Uygulama yoğunluğu ve süre: İlk alev bastırma tek başına yeterli değildir. Yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının altına düşmesi ve yeniden tutuşma riskinin belirli süre boyunca kontrol altında tutulması gerekir.

Sıcaklık çevrimleri ve depolama stabilitesi: Donma-çözünme, yüksek sıcaklıkta bekletme, kristallenme, çökelme ve elastomer uyumluluğu saha güvenilirliğini belirler.

3.4. SFFF (Synthetic Fluorine-Free Foam) Köpük Teknolojileri

SFFF (Synthetic Fluorine-Free Foam) köpük konsantreleri, PFAS, PFOA ve PFOS gibi kalıcı florlu bileşenler içermeyen sentetik köpük sistemleridir. Günümüzde özellikle çevresel düzenlemeler ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda hidrokarbon yangınlarında AFFF köpüklerine alternatif olarak geliştirilmektedir. Söndürme mekanizması; köpük örtüsü oluşturarak yakıt yüzeyinden yanıcı buhar çıkışını baskılama, su fazı ile soğutma ve yeniden tutuşmayı geciktirme esasına dayanır.

SFFF Köpük Performansını Etkileyen Faktörler

- Yüzey aktif madde sistemi (anyonik, amfoterik ve noniyonik surfaktan dengesi)
- Köpük genleşme oranı (Expansion Ratio)
- Drenaj süresi (%25 ve %50 Drain Time)
- Kabarcık stabilitesi (Bubble Stability)
- Heptan üzerinde söndürme süresi
- Geri yanma dayanımı (Burnback Resistance)
- Nozul tipi ve uygulama yoğunluğu
- Su kalitesi (tatlı su / deniz suyu)
- Viskozite, yoğunluk ve depolama kararlılığı

SFFF Köpüklerin Çevresel Avantajları

Flor içermeyen yapıları sayesinde kalıcı organik kirletici oluşturmazlar. Uygun formülasyonlarda düşük çevresel etki, düşük toksisite ve daha kolay atık yönetimi sağlayabilirler. Bununla birlikte performansın yalnızca çevresel özelliklerle değil EN 1568 serisi yangın deneyleri ile doğrulanması gerekir.

Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmanın devamında EN 1568-3 standardına göre gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinden elde edilen genleşme oranı, drenaj süresi, söndürme süresi, geri yanma dayanımı, yoğunluk ve viskozite verileri kullanılarak SFFF köpüklerinin performansı istatistiksel olarak değerlendirilecektir.

4. PERFORMANSIN DENEYSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Potasyum tuzu bazlı ajanların performans değerlendirmesi, yalnızca “alevin sönme süresi” üzerinden yapılmamalıdır. F/K sınıfı testlerde temel başarı göstergeleri; alev kontrol süresi, tam söndürme süresi, yağ sıcaklığındaki düşüş, taşma ve sıçrama oluşmaması, yeniden tutuşma olmaması, uygulama sonrası yüzey örtüsünün bütünlüğü ve ekipmanda kalıcı hasar oluşmamasıdır. Sabit sistemlerde nozul konumu, korunan cihaz tipi, davlumbaz ve kanal geometrisi de test kapsamına alınmalıdır.

B sınıfı heptan yangınlarında ise düşük genleşmeli köpük performansı farklı metriklerle değerlendirilir. EN 1568-3 yaklaşımında köpüğün yangını kontrol ve söndürme kabiliyeti ile geri yanmaya karşı dayanımı birlikte ele alınır. Genleşme oranı ve drenaj süresi köpük yapısının karakterizasyonunu sağlar; ancak tek başına yüksek genleşme veya uzun drenaj iyi söndürme performansı anlamına gelmez. Yakıt kontaminasyonu, köpük örtüsünün hareketliliği, uygulama yöntemi ve nozul tipinin birlikte değerlendirilmesi gerekir.

Tablo 3. Potasyum tuzu bazlı ajanlarda önerilen performans doğrulama matrisi

Test grubu	Ölçülen parametre	Performans amacı
Fiziksel-kimyasal	Yoğunluk, pH, viskozite, yüzey gerilimi, donma noktası	Ürün tutarlılığı ve püskürtme uygunluğu
Depolama	Sıcak/soğuk çevrim, kristallenme, çökelme, ambalaj uyumu	Raf ömrü ve güvenilirlik
Hidrolik	Debi, püskürtme açısı, damlacık dağılımı	Yağ sıçratmadan homojen uygulama
Yangın performansı - F/K	Kontrol/söndürme süresi, yağ sıcaklığı, yeniden tutuşma	Pişirme yağı yangınında gerçek etkinlik
Yangın performansı - B	Genleşme, drenaj, söndürme, geri yanma	Heptan ve hidrokarbonlarda köpük performansı
Malzeme uyumu	Karbon çelik, paslanmaz, pirinç, alüminyum, elastomer	Korozyon ve sızdırmazlık riskinin yönetimi
Çevresel	Akut sucul etki, KOİ/iletkenlik, bertaraf senaryosu	Yaşam döngüsü çevresel etkisinin belirlenmesi

5. ÇEVRESEL PERFORMANS VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Potasyum tuzları uçucu olmadıkları için ozon tabakasını inceltme veya doğrudan sera gazı etkisi oluşturma bakımından avantajlıdır.Potasyum asetat ve sitratın organik anyon kısmı biyolojik süreçlerle parçalanabilirken potasyum iyonu ve karbonat gibi inorganik bileşenler çevrede iyonik türler olarak bulunur. Bu nedenle çevresel beyanlar; sucul toksisite, kimyasal oksijen ihtiyacı, pH, iletkenlik, tuzluluk ve yerel atık su kabul kriterleri üzerinden yapılmalıdır.

Sürdürülebilir formülasyon geliştirmede düşük toksisiteli hammaddeler, flor içermeyen yüzey aktif maddeler, konsantre kullanım oranının azaltılması, düşük enerjiyle üretim, geri dönüştürülebilir ambalaj ve yangın sonrası kolay temizlenebilirlik birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca tuzlu kalıntının elektrikli ekipmanlarda iletkenlik oluşturabileceği ve paslanmaz çelik dışındaki bazı metal yüzeylerde uzun süre bırakıldığında korozyona katkı sağlayabileceği unutulmamalıdır.

6. UYGULAMA VE FORMÜLASYON GELİŞTİRME ÖNERİLERİ

- Potasyum asetat-sitrat-karbonat oranı, yalnızca laboratuvar çözünürlüğüne göre değil; nozul debisi, damlacık spektrumu ve gerçek yangın performansına göre optimize edilmelidir.
- Formülasyonun düşük sıcaklık akışkanlığı ve sıcak depolama stabilitesi en azından hızlandırılmış yaşlandırma ve sıcaklık çevrimi ile doğrulanmalıdır.
- pH yükseldikçe reaksiyon potansiyeli artabilse de korozyon ve kullanıcı güvenliği riskleri büyür; tamponlanmış sistemler tercih edilmelidir.
- F/K sınıfı performans iddiası, heptan B sınıfı performans iddiasından ayrı tutulmalı; her bir kullanım alanı kendi standardı ve gerçek ölçekli testiyle belgelenmelidir.
- Ürün teknik föyünde “çevre dostu” ifadesi tek başına kullanılmamalı; ODP, GWP, flor içeriği, biyolojik parçalanabilir organik içerik, sucul toksisite ve bertaraf koşulları açıkça belirtilmelidir.

7. SFFF KÖPÜKLERİ İLE POTASYUM TUZU BAZLI AJANLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu karşılaştırma, kullanıcı tarafından sağlanan SFFF deney verileri ile potasyum tuzu bazlı ıslak kimyasal ajanların bilinen işlevsel özelliklerini aynı teknik çerçevede değerlendirmektedir. İki sistem farklı yangın sınıfları için tasarlandığından, sonuçlar doğrudan bir “üstünlük” sıralaması olarak değil, tehlikeye uygunluk ve performans mekanizması bakımından yorumlanmalıdır.

SFFF numunesine ait sağlanan deney koşulları ve sonuçları:

- Köpük tipi: F3 / %3 konsantrasyon
- Yakıt: Heptan
- Uygulama ekipmanı: Düşük genleşmeli nozul
- Genleşme oranı: 1:18
- Drenaj süresi: 17 dakika 36 saniye
- Söndürme süresi: 5,5 dakika
- Geri yanma süresi: 128 saniye
- Yoğunluk: 1,05 g/cm³
- Viskozite: 8,05 mPa·s

Tablo 4. SFFF köpüğü ile potasyum tuzu bazlı ıslak kimyasal ajanların teknik karşılaştırması

Değerlendirme ölçütü	SFFF köpüğü (sağlanan deney verisi)	Potasyum tuzu bazlı ıslak kimyasal	Teknik yorum
Hedef yangın sınıfı	B sınıfı; heptan üzerinde değerlendirilmiştir	F/K sınıfı; kızgın bitkisel ve hayvansal yağlar	Sistemler farklı yakıt kimyalarına göre tasarlanmıştır.
Temel söndürme mekanizması	Köpük örtüsü, buhar bastırma, soğutma ve yakıt yüzeyini ayırma	Soğutma, yüzeyde koruyucu sabunumsu tabaka oluşumu ve yeniden tutuşmayı önleme	SFFF fiziksel örtüye; potasyum tuzları kimyasal-yüzeysel etkiye daha fazla dayanır.
Konsantrasyon	%3	Formülasyona göre değişir; tek değer sağlanmamıştır	SFFF için dozaj verisi mevcuttur; potasyum tuzu için deneysel konsantrasyon ayrıca verilmelidir.
Genleşme oranı	1:18	Uygulanabilir bir performans ölçütü değildir	Genleşme köpük ajanına özgü karakterizasyon parametresidir.
Drenaj süresi	17 dk 36 sn	Uygulanabilir bir performans ölçütü değildir	SFFF örtüsünün su bırakma davranışını gösterir; ıslak kimyasal ajanlarda bunun yerine yüzey örtüsü ve soğutma izlenir.
Söndürme süresi	5,5 dk	Veri sağlanmamıştır	Doğrudan kıyas için potasyum tuzunun aynı ölçekte F/K sınıfı söndürme süresi gerekir.
Geri yanma / yeniden tutuşma	128 sn geri yanma süresi	Temel başarı ölçütü yeniden tutuşmanın önlenmesidir; veri sağlanmamıştır	Her iki sistemde kalıcı söndürme kritik olmakla birlikte test yöntemi ve yakıt farklıdır.
Yoğunluk	1,05 g/cm³	Genellikle su bazlı ve yüksek iyonik içerikli; özel değer sağlanmamıştır	Yoğunluk debi hesabı, karışım oranı ve pompa/nozul uyumunu etkiler.
Viskozite	8,05 mPa·s	Tuz tipi ve konsantrasyona bağlı olarak değişir; özel değer sağlanmamıştır	Her iki sistemde püskürtme karakteri ve düşük sıcaklık performansı için önemlidir.
Nozul davranışı	Düşük genleşmeli nozul ile köpük üretimi	Yumuşak püskürtme; yağ sıçratmayan özel nozul gerekir	Nozul seçimi yanlışsa her iki ajan da beklenen performansı gösteremez.
Yakıtla kimyasal etkileşim	Heptan ile sabunlaşma beklenmez; etki fiziksel köpük örtüsüdür	Pişirme yağlarında sabunlaşma/koruyucu yüzey filmi desteklenir	Heptan sonucu potasyum tuzu performansını temsil etmez.
Çevresel profil	Flor içermeyen sentetik köpük olarak tasarlanır; formülasyon bazında doğrulanmalıdır	Uçucu olmayan sulu potasyum tuzları; tuzluluk, pH ve atık su etkisi değerlendirilmelidir	Her iki ajan için “çevre dostu” iddiası analitik verilerle desteklenmelidir.
Kalıntı ve temizlik	Köpük çözeltisi kalıntısı bırakabilir	İletken ve tuzlu sulu kalıntı bırakabilir	Elektrik ekipmanı ve metal yüzeylerde temizlik prosedürü gereklidir.
Başlıca güçlü yön	B sınıfı hidrokarbonlarda yüzey örtüsü ve buhar bastırma	F/K sınıfında güçlü soğutma ve yeniden tutuşma kontrolü	En yüksek performans doğru yangın sınıfında elde edilir.
Başlıca sınırlama	Köpük örtüsünün yakıt, uygulama ve drenaj koşullarına hassas olması	Hidrokarbonlarda sabunlaşma mekanizmasının bulunmaması	Ajanlar birbirinin doğrudan alternatifi değildir.

7.1. Deney Verilerinin Teknik Yorumu

Sağlanan SFFF sonuçlarında 1:18 genleşme oranı, düşük genleşmeli uygulama sınıfı içinde hacimsel olarak belirgin bir köpük üretildiğini göstermektedir. 17 dakika 36 saniyelik drenaj değeri, köpük örtüsünün belirli bir süre boyunca su fazını tutabildiğini göstermesi açısından önemlidir. Bununla birlikte genleşme ve dre-

naj değerleri tek başına söndürme başarısını kanıtlamaz; 5,5 dakikalık söndürme süresi ve 128 saniyelik geri yanma süresi ile birlikte değerlendirilmelidir.

Yoğunluğun 1,05 g/cm³ ve viskozitenin 8,05 mPa·s olması, konsantrenin suya yakın fakat saf sudan daha yoğun ve daha viskoz bir akış karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Bu değerler, %3 oranlayıcı sistemin kalibrasyonu, indüksiyon doğruluğu ve nozulda hava sürüklenmesi açısından dikkate alınmalıdır. Deneyde su sertliği bulunmaması, iyonların köpük performansı üzerindeki olası olumsuz etkisini sınırlandırmış olabilir; bu nedenle ürünün sert su ve deniz suyu koşullarında ayrıca denenmesi sonuçların saha uygulanabilirliğini güçlendirecektir.

7.2. Potasyum Tuzlarına Göre Üstün ve Sınırlı Yönler

SFFF sisteminin başlıca üstünlüğü, heptan gibi suyla karışmayan hidrokarbon yakıtların yüzeyinde sürekli bir köpük örtüsü oluşturabilmesidir. Potasyum tuzu bazlı ajanlarda pişirme yağı yangınlarında görülen sabunlaşma etkisi heptanda gerçekleşmez. Bu nedenle sağlanan heptan deneyinde potasyum tuzunun SFFF ile aynı koşullarda eşdeğer performansı göstermediği görülmüştür.

Potasyum tuzu bazlı ıslak kimyasal ajanların üstünlüğü ise kızgın pişirme yağlarında yalnızca alevi bastırmakla kalmayıp yakıtı yoğun biçimde soğutması ve yeniden tutuşmayı engelleyen koruyucu yüzey tabakasını desteklemesidir. SFFF köpüğü pişirme yağı yangınında fiziksel bir örtü sağlayabilse de, F/K sınıfı uygulama için özel olarak doğrulanmadıkça potasyum tuzu sisteminin yerine kullanılmamalıdır.

7.3. Sonuç ve Formülasyon Kararı

Sağlanan verilere göre SFFF numunesi, %3 konsantrasyonda ve düşük genleşmeli nozul ile heptan yangınında ölçülebilir bir köpük örtüsü, 17 dakika 36 saniyelik drenaj davranışı, 5,5 dakikalık söndürme ve 128 saniyelik geri yanma süresi ortaya koymuştur. Bu sonuçlar SFFF ürününün B sınıfı hidrokarbon yangınları için değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Potasyum tuzu bazlı ajanlar ise aynı performans göstergeleri üzerinden değil; F/K sınıfı yangında yağ sıcaklığının düşürülmesi, söndürme süresi, yeniden tutuşmanın engellenmesi, sıçrama olmaması ve yüzey örtüsünün sürekliliği üzerinden değerlendirilmelidir.

Bu nedenle iki ajan arasında tek bir genel performans sıralaması yapmak teknik açıdan doğru değildir. En uygun yaklaşım; SFFF köpüğünü heptan ve diğer B sınıfı yakıtlarda EN 1568-3 kapsamındaki deneylerle, potasyum tuzu bazlı ajanı ise kızgın pişirme yağı yangınlarına yönelik F/K sınıfı performans deneyleriyle ayrı ayrı doğrulamak ve tesis riskine göre seçmektir.

Not: *Potasyum tuzu ajanına ait konsantrasyon, pH, yoğunluk, viskozite, söndürme süresi ve yeniden tutuşma verileri sağlanmadığı için bu alanlarda sayısal karşılaştırma yapılmamıştır.*

8. SONUÇ

Çevre dostu yangın söndürme teknolojilerine geçiş, ajan değişiminden ibaret değildir; yangın tehlikesinin doğru sınıflandırılması, sistem tasarımı, nozul-hidrolik uyumu, malzeme dayanımı ve yangın sonrası çevresel etkinin birlikte yönetilmesini gerektirir. Potasyum asetat, potasyum sitrat ve potasyum karbonat bazlı ıslak kimyasal çözeltiler, yüksek sıcaklıktaki pişirme yağı yangınlarında suyun soğutma etkisini iyonik ve yüzey kimyasıyla birleştirerek yüksek yeniden tutuşma direnci sağlayabilir. En güçlü performans göstergesi ilk alev söndürme süresi değil, yağın güvenli sıcaklığa indirilmesi ve kalıcı söndürmenin sağlanmasıdır.

Bununla birlikte bu ajanların pişirme yağlarındaki performansı hidrokarbon yangınlarına genellenmemelidir. Heptan ve benzeri B sınıfı yakıtlarda köpük sistemi; genleşme, drenaj, söndürme ve geri yanma dayanımı bakımından EN 1568-3 gibi ilgili test yöntemleriyle doğrulanmalıdır. Potasyum tuzlu formülasyonların sürdürülebilirlik avantajı, sıfır uçuculuk ve düşük atmosferik etki ile sınırlı görülmemeli; korozyon, atık su tuzluluğu, kalıntı ve yaşam döngüsü kriterleri de teknik dosyanın parçası haline getirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. NFPA. Fire Extinguisher Types: Wet chemical agents may include aqueous solutions of potassium acetate, potassium carbonate and related salts. National Fire Protection Association, 2023.
2. NFPA. What Is a Class K Fire Extinguisher? Wet chemical agents react with cooking oils/fats to form a surface layer and reduce re-ignition risk. National Fire Protection Association, 2024.
3. NFPA 10. Standard for Portable Fire Extinguishers. National Fire Protection Association.
4. UL 300. Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Commercial Cooking Equipment. UL Solutions.
5. EN 1568-3. Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.
6. EN 3-7. Portable fire extinguishers - Characteristics, performance requirements and test methods.
7. ISO 14520-1. Gaseous fire-extinguishing systems - Physical properties and system design.

Kübra ÖZCAN

1993 yılında Ardahan'da doğdu. Dokuz Eylül Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun oldu. Halen Dokuz Eylül Üniversitesi AR-GE ve İnovasyon Yönetimi yüksek lisans programında öğrenimine devam etmektedir. Çeşitli sektörlerde Ar-Ge ve kalite alanlarında görev yaptıktan sonra, A Yangın Güvenlik Sistemleri A.Ş.'de Üretim ve Ar-Ge Yöneticisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yangın söndürme kimyasalları, flor içermeyen köpük konsantreleri (SFFF), çevre dostu söndürme ajanları, ürün geliştirme, performans testleri ve ISO/IEC 17025 laboratuvar uygulamaları üzerine çalışmalar yürütmektedir. Araştırmaları sürdürülebilir yangın söndürme teknolojileri ve çevresel etkisi düşük yangın söndürme sistemleri üzerine yoğunlaşmaktadır.

MİMARİ TASARIMDA YANGIN VE CAN GÜVENLİĞİ
Kaçış Yolları ve Yangın Merdivenleri Tasarımı

Mehmet EKİM

ÖZET

Kentlerde nüfus artışı dikey mimarinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum küçük parsellerde yüksek binaların sayılarını artırmakta ve bitişik nizam parsellerde merdiven tahliyelerini zorlaştırmaktadır. Bu yapılar tasarlanırken binanın parsele yerleşiminden başlayarak yangın merdivenleri ve kaçış yollarının iyi planlanması gerekir. Parselde olası bir yangında itfaiye araçlarının ulaşabileceği şekilde binanın konumlanması ve insanların güvenli tahliyelerinin sağlanması önemlidir. Binanın yangına dayanıklı olması için uygun yapı malzemeleri kullanılmalı, kompartıman planlaması yapılmalı, yangın ve duman yayılımını engelleyecek malzemeler seçilmeli ve en önemlisi kaçış yolları - merdiven tasarımları mevzuata uygun yapılmalıdır. Yapı yüksekliği, bina kullanım sınıfı, tehlike sınıfı, kattaki kullanıcı yükü hesaplanmalı, bunlara göre kaçış yolları ve merdivenlerin sayıları ile genişlikleri tasarlanmalıdır.
Bu çalışmada yeni binalarda kaçış yolları ve yangın merdivenlerinin tasarımında yapı yüksekliğine göre dikkat edilmesi gerekenler ve uygulamada karşılaşılan sorunlar anlatılacaktır.

Anahtar sözcükler: Mimari tasarım, yangın merdiveni, yapı yüksekliği, kaçış merdiveni, merdiven tahliyesi, koridor genişliği, kapı genişliği

ESCAPE ROUTE AND FIRE STAIRCASE DESIGN

ABSTRACT

Population growth in cities leads to an increase in vertical architecture. This situation increases the number of high-rise buildings on small plots and makes stairwell evacuations difficult in adjacent plots. When designing these structures, it is necessary to carefully plan fire escapes and escape routes, starting from the building's placement on the plot. It is important that the building is positioned in a way that allows fire trucks to reach it in the event of a fire and ensures the safe evacuation of people. Appropriate building materials should be used to ensure fire resistance, compartment planning should be carried out, materials that prevent the spread of fire and smoke should be selected, and most importantly, escape routes and stairs should be properly designed. Building height, building use class, hazard class, and user load per floor should be calculated and the number and width of escape routes and stairs should be designed accordingly.
This study will discuss the considerations to be taken into account in the design of escape routes and fire escapes in new buildings according to building height and the problems encountered in practice.

Keywords: Architectural design, fire escape, building height, escape staircase, fire escape evacuation, corridor width, door width

1. GİRİŞ

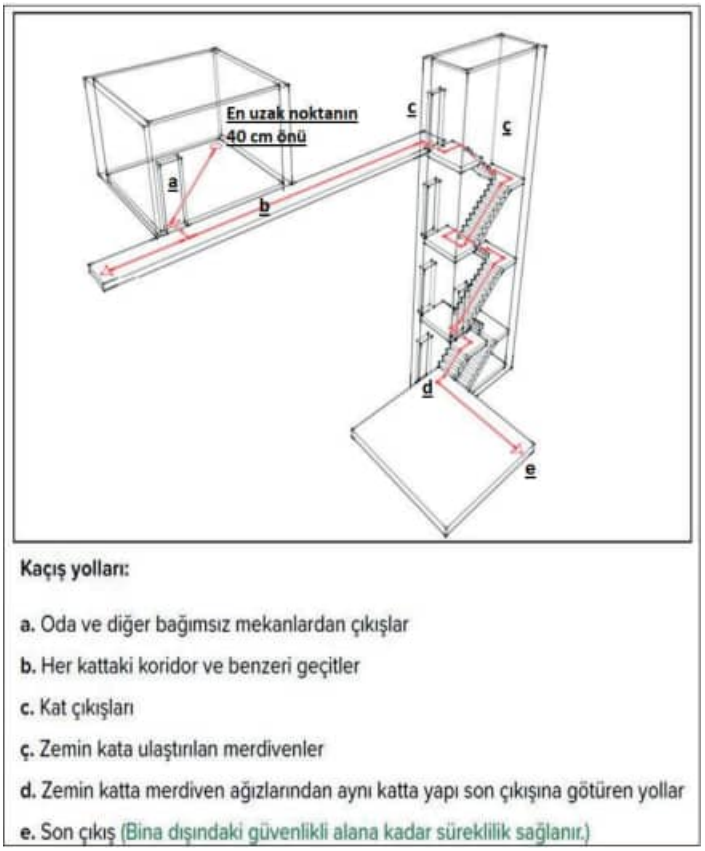
Günümüzde yüksek yapı sayıları her geçen gün artmaktadır. Yangın, deprem, patlama gibi herhangi bir acil durumda binadaki kullanıcıların binayı güvenli ve hızlı bir şekilde terk etmesi çok önemlidir. Bu durum binalarda yangın merdiveni tasarımının önemini artırmaktadır. Ülkemiz mevzuatlarında yapı yüksekliği arttıkça merdiven sayısı ve genişliği artmakta, yangın önlemleri daha da katı hale gelmektedir. Yangını sınırlandırmak ve mümkünse durdurmak için planlanan, bina yapıldıktan sonra da uzun yıllar boyunca işlevini sürdüren yapısal önlemlere pasif yangın önlemleri denilmektedir. Mimari proje aşamasında binanın parsele yerleşimi, yapının kullanım ve tehlike sınıfına uygun yapı malzemeleri seçilmesi, kullanıcılar için hızlı ve güvenli kaçış yollarının tasarlanması, yangının ve dumanın yayılımının engellenmesi gibi temel mimari unsurlar pasif yangın önlemlerini içerir.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte (BYKHY) kaçış uzaklığı; herhangi bir katta bir mekân içinde durulabilen en uzak noktada bulunan bir kullanıcının kendisine en yakın kat çıkışına kadar almak zorunda olduğu yürüme yolunun uzunluğu olarak tanımlanmıştır. BYKHY Madde 39 kapsamında aksi belirtilmedikçe bütün yapılarda iki adet çıkış tesis edilmelidir. Kaçış uzaklığı Çıkışlara Götüren En Uzun Kaçış Uzaklıkları ve Birim Genişlikleri Tablo Ek-5/ B'de belirtilen mesafeleri aşmamalıdır, daha fazla kaçış mesafesine sahip herhangi bir mekanda mutlaka ikinci acil çıkış kapısı bulunmalıdır. [1]



Şekil 1: Kaçış uzaklığı [3]

Kaçış yolu ise oda ve diğer müstakil hacimlerden çıkışlar, katlardaki koridor ve benzeri geçişler, kat çıkışları, zemin kata ulaşan merdivenler ve bina son çıkışına giden yollar dâhil olmak üzere binanın herhangi bir noktasından yer seviyesindeki cadde veya sokağa kadar olan ve hiçbir şekilde engellenmemiş olan yolun tamamını tarif etmektedir. Kaçış uzaklığı ölçülecek en uzak nokta mekân içinde mekânı çevreleyen duvarlardan 40 cm önde alınır ve yürüyüş yolu olarak bina dışı veya yangın korunumlu kaçış koridoru, yangın merdiveni kapısı vb. alana kat edilen yolun tamamıdır.



Şekil 2: Kaçış yolu [2]

Tek katlı binalarda kaçış uzaklığı en yakın bina dışına kaçış kapısı veya yangın kaçış koridoru kapısına kadar alınan mesafe olurken birden fazla katı olan yapılarda kaçış mesafesi katlardaki korunumlu koridor, yangın merdivenlerinin yangın güvenlik holleri ve yangın merdivenleri kapılarına kadar olan mesafedir. Bu mesafeler hiçbir zaman Çıkışlara Götüren En Uzun Kaçış Uzaklıkları ve Birim Genişlikleri Tablo Ek-5/ B'de belirtilen mesafeleri aşamaz. Bu bağlamda kaçış mesafeleri ve acil çıkış kapıları planlanırken imar mevzuatı parsel planından başlayarak, binanın parsele yerleşimi, cephelerden cadde ve sokağa ulaşım, bina cephelerindeki kaçış kapılarının yerleri ve bina merdiven tahliyeleri iyi planlanmalı acil kaçışlar hiçbir zaman kör bahçe, çatı, teras vb alanlara verilmemelidir. Merdiven tahliyesi dahil tüm acil çıkış kapıları kullanıcıları sokak ve caddeye ulaşılabilen açık alanlara ulaştırmalıdır.

Bu çalışmada yeni bina (19.12.2007 tarihi sonrası) olarak tanımlanan yapılarda, İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığının proje inceleme safhasında ve saha denetimlerinde karşılaştığı sorunlardan olan kaçış yollarının ve kaçış merdivenlerinin tasarımında dikkat edilmesi gerekenler anlatılacaktır. Binalardaki doğru tasarım örneklerinden ve hatalı tasarım örneklerinden görseller ile anlatımlar sağlanacaktır. Örneklem olarak İzmir ilindeki binalara ait projelerden görseller paylaşılmıştır. İkinci acil kaçışlar ve kaçış merdivenlerinin doğru tasarlanması için kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

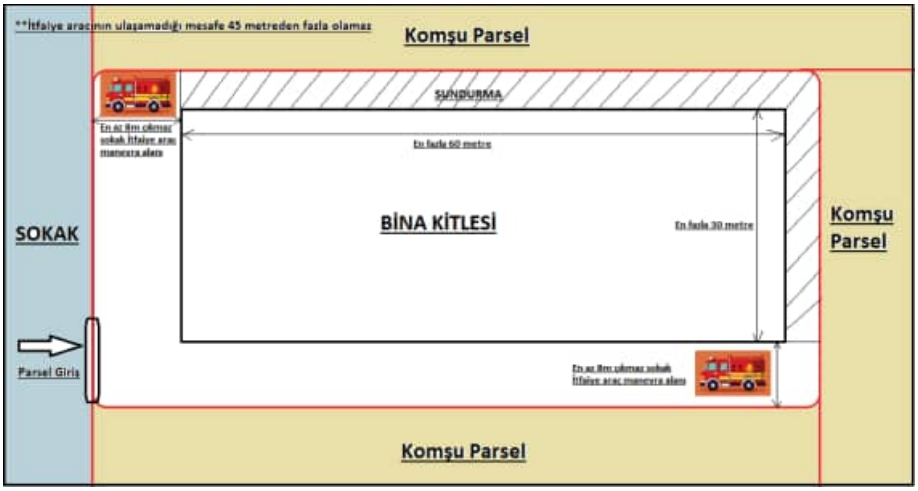
2. KAÇIŞ YOLLARI VE KAÇIŞ MERDİVENLERİ TASARIMI

Binanın parsele yerleşimi imar mevzuatı ve diğer mevzuatlar ile birlikte bina faaliyet konusuna göre belirlenmeli, BYKHY Madde 21 ve 22'ye göre planlanmalı buna göre itfaiye-ambulans gibi acil durum araçlarının binalara yaklaşımı ve parselde dolaşımı tasarlanmalıdır (Şekil 3 ve Şekil 4).



Şekil 3: Binaya itfaiye aracı ulaşım yolları [9]

Binanın parsele yerleşimi komşu parsellere yangın geçişi, komşu parsellerden yangının gelmemesi ve bina kullanıcılarının bir acil durumda binanın etrafından dolaşarak güvenli sokak ve caddelere ulaşması için çok önemlidir.



Şekil 4: Fabrika parselinde ring sahası [3]

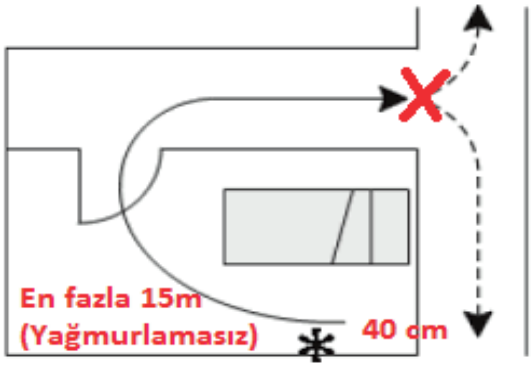
Bina taşıyıcı sistem ve elemanlarının, gerek bir bütün olarak ve gerekse her bir elemanıyla, bir yangında insanların tahliyesi veya söndürme süresinde korunmaları için yeterli bir zaman boyunca stabil kalmalarını sağlayacak şekilde hesaplanarak boyutlandırılması mecburidir (BYKHY Madde 23).

Binanın parsele yerleşiminden sonra bina boyutlarını dolaylı olarak etkileyen kaçış kapıları tasarımı ve merdiven konumlandırılmasının doğru yapılması gerekir. Binalarda kaçış uzaklığı, binanın kullanım amacına, kattaki kaçış yönüne (iki veya tek yönlü), çıkış sayısına ve çıkışın kattaki konumuna, yağmurlama sistemi bulunup bulunmamasına göre ölçülerek belirlenir. Kaçış yolu tasarlanırken bina tehlike sınıfı belirlenmeli buna göre Tablo Ek-5/B'de belirtilen mesafelere göre tek yön ve çift yön kaçış mesafeleri hesaplanmalıdır.

Temel olarak, 25 kişinin aşıldığı yüksek tehlikeli mekânlar ile 50 kişinin aşıldığı her mekânda, Tablo Ek-5/B'de belirtilen tek yön mesafeleri aşan her mekanda, döşeme alanı 100 m^2'nin üzerinde veya ısıl kapasitesi 350 kW'nın üzerindeki kazan dairelerinde, bodrum katlarda gaz kullanılan mutfaklarda, 100 m^2'den büyük olan sığınaklarda, 20 kişiden fazla kapasitede olan konaklama tesislerinde, yapı yüksekliği 21.5 m'den fazla olan tüm binalarda ikinci acil çıkış zorunludur.

Yeni taslak yönetmelikte; 25 kişinin aşıldığı yüksek tehlikeli mekânlar ve katlar ile 50 kişinin aşıldığı her mekânda veya katta, Tablo Ek-5/B'de belirtilen tek yön mesafeleri aşan her mekanda, döşeme alanı 100m^2'nin üzerindeki kazan dairelerinde, bodrum katlarda gaz kullanılan mutfaklarda, 100 m^2'den büyük olan sığınaklarda, konaklama yapılarında toplam yatılan oda sayısı 12'den fazla ve yapı yüksekliği 12,50 m'den fazla olan bina veya bloklarda, yapı yüksekliği 21.5 m'den fazla olan tüm binalarda ikinci acil çıkış zorunludur, şeklindedir.

Kaçış mesafesi alınırken tefrişlerin etrafından dolaşacak şekilde yürüyüş yoluna göre ölçüm yapılmalıdır. Tek yön mesafesi veya çıkmaz koridor mesafesi uygun olmayan yerlerde iki yönlü kaçış mesafesi yeterli olsa bile kaçış uygun olmayacaktır. Bu sebeple öncelikle Tablo Ek-5/B'de belirtilen tek yön mesafelere uygun kaçış yolları düzenlenmeli tek yön gidilen noktadan itibaren çift yönlü mesafeden tek yönde kat edilen mesafe çıkarılarak geriye kalan kadar mesafe hesaplanmalıdır.



Şekil 5: Bürolarda tek yönlü kaçış mesafesi [3]

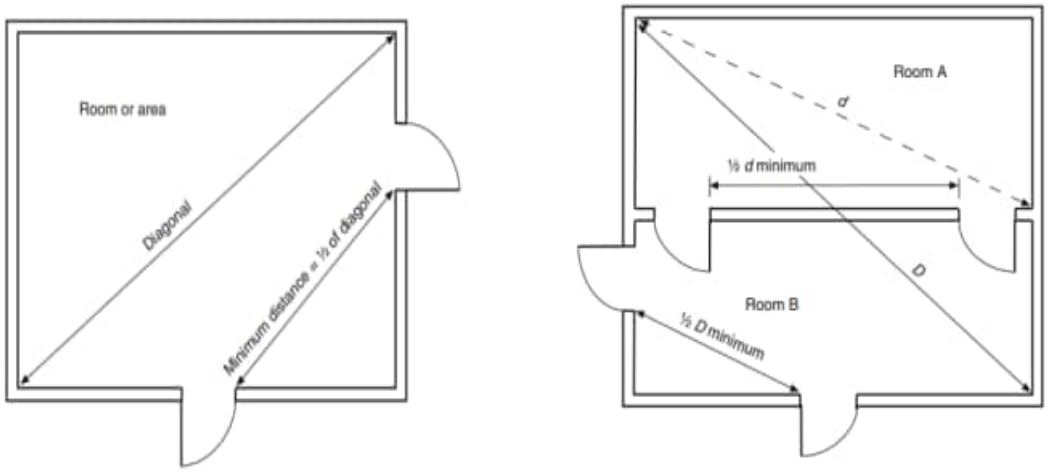
Örneğin büro faaliyetli bir binada yukarıdaki şekilde gösterilen kırmızı çarpı işaretli koridor başına kadar tek yön 10 m yol aldığımızı ve iki yönlü alternatif kaçışa ulaştığımızı düşünelim, büro binalarında yağmurlamasız iki yönlü kaçış mesafesi 45m olduğundan çarpı işaretinden itibaren 35m içerisinde en yakındaki korunumlu yangın merdiveni kapısına ulaşmamız gerekir.

Her yapıda, bütün kullanıcılara elverişli kaçış imkânı sağlayacak şekilde, yapının kullanım sınıfına, kullanıcı yüküne, yangın korunum düzeyine, yapısına ve yüksekliğine uygun tip, sayı, konum ve kapasitede kaçış yolları düzenlenir.

Kaçış yollarının belirlenmesinde yapının kullanım sınıfı, kullanıcı yükü, kat alanı, çıkışa kadar alınacak yol ve çıkışların kapasitesi esas alınır. Her katta, o katın kullanıcı yüküne ve en uzun kaçış uzaklığına göre çıkış imkânları sağlanır.

BYKHY Madde 39'a göre bütün yapılarda, aksi belirtilmedikçe, en az 2 çıkış tesis edilmesi ve çıkışların korunmuş olması gerekir. Çıkış sayısı, 33'üncü madde esas alınarak belirlenecek sayıdan az olamaz. Aksi belirtilmedikçe, 25 kişinin aşıldığı yüksek tehlikeli mekânlar ile 50 kişinin aşıldığı her mekânda en az 2 çıkış bulunması şarttır. Kişi sayısı 500 kişiyi geçer ise en az 3 çıkış ve 1000 kişiyi geçer ise en az 4 çıkış bulunmak zorundadır. [1]

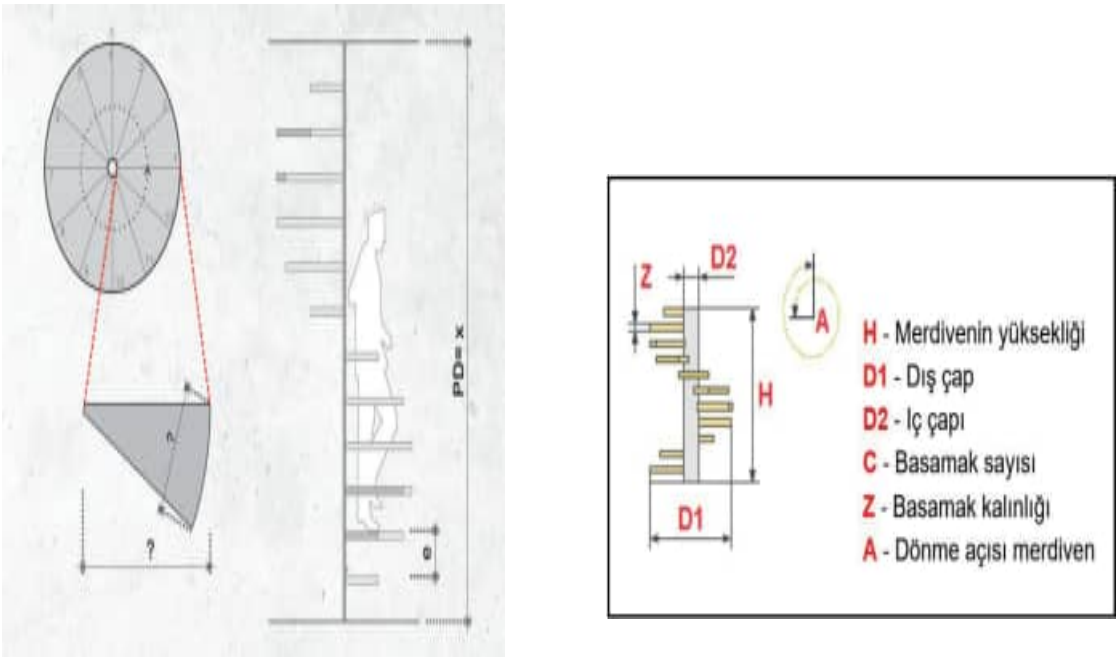
Çıkışların birbirinden olabildiğince uzakta olması gerekir. Bölünmemiş tek mekânlarda 2 çıkış gerekiyor ise çıkışlar arasındaki mesafe yağmurlama sistemi bulunmadığı takdirde diyagonal (köşegen uzunluğu) mesafenin 1/2'sinden ve yağmurlama sistemi mevcut ise diyagonal mesafenin 1/3'ünden az olamaz.



Şekil 6: Köşegen uzunluğuna göre alternatif kaçış kapısı tayini [8]

2.1. Dairesel Merdiven

Dairesel merdivenler 9,50 m'den daha yüksek olamaz. Dairesel merdivenler; yanmaz malzemeden yapılmaları ve en az 100 cm genişlikte olmaları hâlinde, kullanıcı yükü 25 kişiyi aşmayan herhangi bir kattan, ara kattan, veya balkonlardan zorunlu çıkış olarak hizmet verebilir. Belirtilen şartları sağlamayan dairesel merdivenler, zorunlu çıkış olarak kullanılamaz. Basamağın kova merkezinden en fazla 50 cm uzaklıktaki basış genişliği 250 mm'den az olamaz. Basamak yüksekliği 175 mm'den çok olamaz. Baş kurtarma yüksekliği 2,50 m'den az olamaz.



Şekil 7: Dairesel merdiven [10]

Dairesel merdivenler genellikle az yer kapladığı ve başka yerde yapılıp kolayca taşınıp montajlanabildiği için 25 kişiden az kullanıcı yüküne sahip ve en fazla 2-3 katlı alçak yapılarda tercih edilmektedir. Ancak kat yüksekliği 3 metreden (175mm x 17 basamak=297,5 cm) fazla olan katlarda arka arkaya 17 basamaktan sonra sahanlık yapma zorunluluğu ortaya çıktığından, ayrıca 17 basamaktan fazla basamak ile baş kurtarma yüksekliği sorunu ortaya çıkacağından merdiven kova merkezi genişlemek zorunda kalacak ve merdiven

çok yer kaplamak durumunda olacaktır. Baş kurtarma yüksekliği ile birlikte ayak basma genişliği, basamak yüksekliği gibi diğer merdiven ölçülerini oturtmak da zor olduğundan kat yüksekliği 3 metreden fazla olan binalarda dairesel merdiven doğru ve kolay üretilebilir bir tercih olmayacaktır.

Yeni taslak yönetmelikte; yataklı sağlık yapılarında, okul öncesi eğitim ve ilköğretim kurumlarında dairesel merdivene izin verilmez, hükmü eklenmiştir.

2.2. Dengelenmiş Merdiven

Bina yüksekliği 15,50 m'den veya bir kattaki kullanıcı sayısı 100 kişiden fazla olan binalarda dengelenmiş kaçış merdivenlerine izin verilmez. Bu kural Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 2009 yılındaki değişikliğiyle gelmesine rağmen günümüzde bina yüksekliği 15,5 m veya kattaki kullanıcı sayısı 100 kişiyi geçen binalarda hatalı bir şekilde imal edilmekte ve karşımıza çıkmaktadır.

Bu durumda örneğin bina yüksekliği 15,5m'den fazla olan binadaki herhangi bir faaliyette mevcut dengelenmiş merdiven acil kaçış kabul edilemeyeceğinden en az 1 adet ilave düz kollu merdivene ihtiyaç vardır. Parselde merdiven yapacak yeri olmayan binalar için bu durum çok büyük bir sorun haline gelmektedir. Merdiven yapacak yer bulunsa bile her katta tüm bölümlerden merdiven bağlantısı için koridor oluşturmak alan kayıplarına sebep olacaktır. 2 veya daha fazla düz kollu merdiven zorunlu olan faaliyetlerde ise merdiven yapılamaması durumunda bina kullanılamaz hale gelecektir.



Şekil 8: Dengelenmiş merdiven [4]

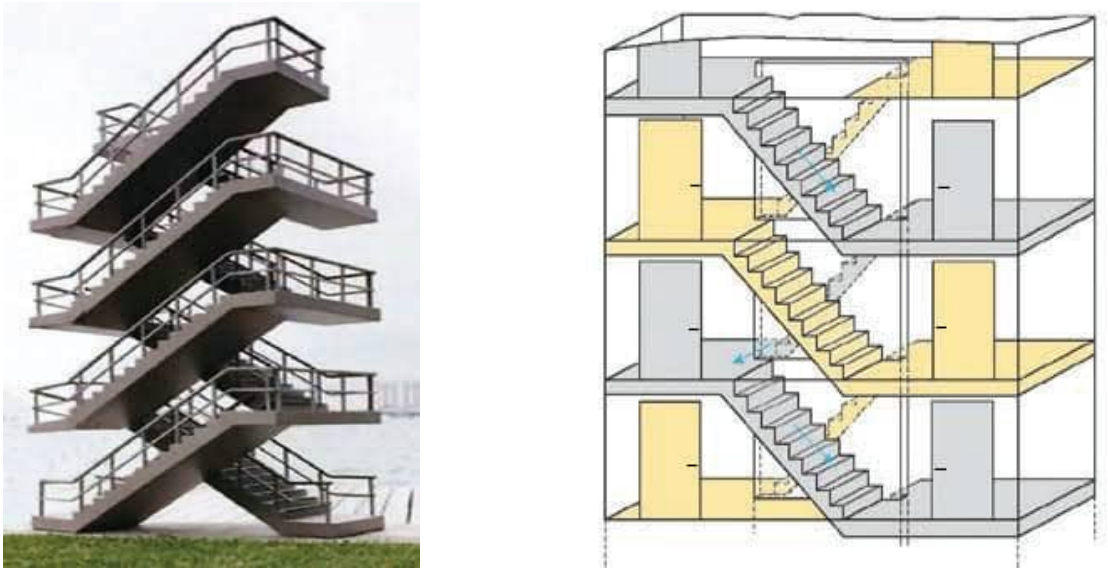
Yeni taslak yönetmelikte; merdiven evi yüksekliği 15,5 m veya kattaki kullanıcı sayısı 100 kişiden fazla olan binalarda dengelenmiş kaçış merdivenlerine izin verilmez, hükmü eklenmiştir.

2.3. Makas Merdiven

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte yangın merdivenleri ile ilgili geniş bilgi bulunmakta ama makas merdivenlerden hiç bahsedilmemektedir. Bir kova içerisinde oluşturulan, tamamen birbirinden ayrı iki merdivenin bir çift helezon şeklinde birbirine sarıldığı ve merdiven kova duvarlarını ortak paylaştıkları iki merdivene makas merdiven denilir. Her katta, aynı kotta her iki merdivene ulaşım sağlanır. Her iki merdivenin her katta sahanlığı ve kapısı bulunur. Bunlar bazı alışveriş merkezlerindeki yürüyen merdiven-

ler ile otoparklardaki tek yönlü çift rampaların benzeridir. [5]

Makas merdivenlerin en büyük avantajı; küçük alanda iki ayrı merdiven yuvası yapmak yerine tek bir yuvada iki merdiveni birlikte yaparak kullanım alanından tasarruf edilmesidir. Özellikle balo salonları, toplantı salonları, alışveriş merkezleri ve sinema salonları gibi alanların bulunduğu binalarda, insanların tahliyesi için çıkış genişliği ihtiyacının yüksek olması sebebi ile gerekli olan çok sayıdaki merdiveni konumlandırmak için makas merdivenler tercih edilmektedir. Makas merdivenlerin kullanılması durumunda yer tasarrufunun yanında inşaat malzemelerinden de tasarruf sağlanabilmektedir. Bu merdivenler alternatif kaçış olarak düşünülmemekte genellikle kaçış genişliğini arttırmak için kullanılmaktadır. [5]



Şekil 9: Makas merdiven [5]

Yeni taslak yönetmelikte Madde 41'in 10. Bendi; Makas merdivenler, tek kaçış merdiveni olarak kabul edilir. Ancak, a) Merdiven evi yüksekliğinin konutlarda 30,50 m'den ve diğer binalarda 21,50 m'den az olması, b) Bir kattaki kullanıcı sayısının 50 kişiden az olması, c) Merdivenler arasındaki, birbirine geçişi engellemek üzere yapılan duvarların yangına 120 dakika dayanıklı olması, d) Merdivenin kapıları arasındaki mesafe, 7 m'den az olmamak üzere, yağmurlama sistemi olan binalarda diyagonal mesafenin 1/2'sinden ve yağmurlama sistemi olmayan yapılarda ise 1/3'ünden daha fazla olması, şartlarının hepsinin birlikte sağlanması halinde iki ayrı kaçış merdiveni olarak kabul edilir, olarak eklenmiştir.

2.4. Dış Kaçış Merdivenleri

Bina yüksekliği 21,50 m'den fazla olan binalarda, bina dışında açık merdivenlere izin verilmez. Dışarıda yapılan açık kaçış merdiveni, ilgili gereklere uyulması şartıyla iç kaçış merdivenleri yerine kullanılabilir. Dış kaçış merdiveninin korunumlu yuva içinde bulunması şart değildir. Açık dış kaçış merdiveninin herhangi bir bölümüne, yanlardan yatay ve alttan düşey uzaklık olarak 3 m içerisinde merdivenin özelliklerinden daha az korunumlu kapı ve pencere gibi duvar boşluğu bulunamaz.



Şekil 10: Dış Kaçış merdiveni [3]

Dairesel merdiven ve dengelenmiş merdivenlerin ölçülerini uygulamak oldukça zor olduğundan ve dairesel merdiven 9.5 m yüksekliğe, dengelenmiş merdiven ise bina yüksekliği 15.5 m'ye kadar yapılabildiklerinden dolayı sonradan binaya eklenen dış kaçış merdivenleri genellikle düz kollu merdiven olarak tercih edilmektedir.

Yeni taslak yönetmelikte; binalarda dış kaçış merdiven evinin yüksekliği 21.5 m'den fazla olamaz, hükmü eklenmiştir.

2.5. Merdiven Tasarımı ve Konumlandırılması

Madde 48 ve Madde 52 kapsamında yapı yüksekliği 21.5 m'den fazla olan konutlar da dahil olmak üzere tüm binalarda en az 2 adet kaçış merdiveni tasarlanmalıdır. Konutlar için özel hükümler dışında diğer tüm faaliyetlerde merdivenler korunumlu (duvarları yangına 120 dk dayanıklı ve kapıları yangına 90 dakika dayanıklı) kaçış merdiveni özelliğinde olmalıdır.

Çıkış mesafelerinin kapıdan **alınmadığı** (konut ve konaklama tesisleri harici binalar) bina kullanım sınıflarında, 2 adet kaçış merdiveni zorunlu ise merdivenlerin birbirinden mümkün olduğunca uzakta ve birbirlerine alternatif olacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Tek yön mesafeden iki yönlü mesafeye girinceye kadar merdiven içerisinden, merdiven sahanlığından, yangın güvenlik holünden geçmeden iki yönlü kaçış noktasına ulaşılması ve tek yönlü - çift yönlü mesafeler ile çıkmaz koridor mesafelerine uygun yerlerde merdiven konumlandırılması gerekir.

Değişik bölümleri veya katları, değişik tipte kullanımlar (karma kullanımlı yapılar) için tasarlanan veya içinde aynı zamanda değişik amaçlı kullanımların sürdürüldüğü yapılarda, yapı bütününe veya kat bütününe ilişkin gerekler, en sıkı kaçış gerekleri olan kullanım tipi esas alınarak tespit edilir veya her bir yapı bölümüne ilişkin gerekler ayrı ayrı belirlenir. (BYKHY, Madde 31) Projelerde ve bina denetimlerinde karşılaşılan en yaygın hatalardan birisi kullanıcı yükü hesabı yapılmadan merdiven genişliklerinin belirlenmesidir. Örneğin bir ofis binasında zemin kat dışındaki bodrum ya da normal bir katta bulunan kullanıcı yükü fazla olan sinema, toplantı salonu, yeme-içme alanı, konser salonu, düğün salonu gibi kullanımlarda ofis katlarına göre planlanmış mevcut merdiven genişlikleri yeterli olmamaktadır. Tasarım aşamasında binanın en yoğun kullanıcılı katına göre merdiven ve kaçış genişlikleri hesaplanmalıdır.

BYKHY Madde 32'ye göre kullanıcı yükü katsayısı olarak, gerekli kaçış ve panik hesaplarında kullanılmak

üzere Ek-5/A'da belirtilen değerler esas alınır. Kullanılan bir mekân içindeki en uzak noktadan en yakın çıkışa olan uzaklık, Ek-5/B'de belirlenen sınırları aşamaz. Tasarımda yapılan hatalardan birisi; yüksek binalarda konut ve yataklı tesis (otel, yurt, misafirhane, rezidans vb. konaklama) katlarında kaçış mesafelerinin oda kapısından alınmasına göre merdiven tasarımı yapılması ve bu faaliyetler dışındaki diğer katlarda ofis, ticari ve sosyal alan (restoran, kafe, yemek salonu, konferans salonu, düğün salonu vb.) kullanımlarında da mahal içi en uzaktaki noktanın 40 cm önünden mesafe alınması gerekirken kapıdan kaçış mesafesi alınmasıdır. Konut ve yataklı tesisler dışındaki tüm faaliyetlerde merdivenlere kaçışlarda BYKHY Madde 32'ye göre mekânı çevreleyen duvarların 40 cm önünden başlayarak yürüyüş yolu şeklinde kaçış mesafeleri alınmalıdır (Şekil 11). [1]



Şekil 11: Yatak odası dışındaki kullanımlarda kaçış mesafesi [3]

Kaçış merdivenlerinde her döşeme düzeyinde 17 basamaktan çok olmayan ve 4 basamaktan az olmayan aralıkla sahanlıklar düzenlenir. Sahanlığın en az genişliği ve uzunluğu, merdivenin genişliğinden az olamaz. Basamakların kaymayı önleyen malzemeden olması şarttır. Kaçış merdiveni sahanlığına açılan kapılar hiçbir zaman kaçış yolunun 1/3' ünden fazlasını daraltacak şekilde konumlandırılamaz. Merdivenlerde baş kurtarma yüksekliğinin, basamak üzerinden en az 210 cm ve sahanlıklar arası kot farkının en çok 300 cm olması gerekir. Herhangi bir kaçış merdiveninde basamak yüksekliği 175 mm'den çok ve basamak genişliği 250 mm'den az olamaz. Kaçış merdiveni yuvasına ve yangın güvenlik holüne elektrik ve mekanik tesisat şaftı kapakları açılamaz, kombi kazanı, iklimlendirme dış ünitesi, sayaç ve benzeri cihaz konulamaz. (BYKHY Madde 41) [1]

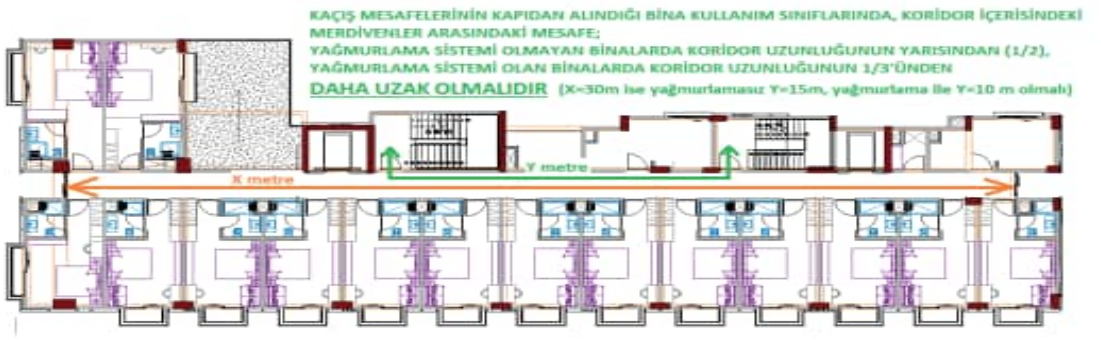
Yüksek binalarda (bina yüksekliği 21,50 m'den, yapı yüksekliği 30,50 m'den fazla olan binalar) kaçış yollarının ve merdivenlerin genişliği BYKHY Madde 33/2'ye göre 120 cm'den az olamaz. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği Madde 31-1-a ve Plansız Alanlar İmar Yönetmeliği Madde 29-a'ya göre yüksek yapılarda ve konutlarda merdiven genişliği en az 120 cm diğer yapılarda ise en az 150 cm olmalıdır. [6] [7]

Alan kazanmak için merdiven genişlikleri en az sınırda tasarlandığı takdirde kişi yükü fazla olan herhangi bir katta merdiven genişlikleri veya merdiven sayıları yeterli olmayabilir bu sebeple kişi yükü en yoğun kata göre merdiven genişliği ve sayısı tasarlanmalıdır. Kişi yükü hesabı yapılmadan yukarıda belirtilen minimum ölçülerde merdiven genişliği yapıldığında kaçış mesafeleri uygun olsa bile kişi yüküne göre merdiven genişlikleri yeterli olmadığından ilave merdivenler gerekli olmaktadır.

BYKHY Madde 34'e göre aksi belirtilmedikçe kaçış merdivenlerine, bir yangın güvenlik holünden veya kullanım alanlarından bir kapı ile ayrılan hol, koridor veya lobiden geçilerek ulaşılır. Acil durum asansörü ile yapı yüksekliği 51.5 m'den fazla olan binalarda kaçış merdiveni önüne yangın güvenlik holü yapılması zorunludur. Yangın güvenlik hollerinin duvar, tavan ve tabanında hiçbir yanıcı malzeme kullanılamaz ve bu

hollerin, yangına en az 120 dakika dayanıklı duvar ve en az 90 dakika dayanıklı duman sızdırmaz kapı ile diğer bölümlerden ayrılması gerekir. Yangın güvenlik hollerinin taban alanı, 3 m²'den az, 6 m²'den fazla ve kaçış yönündeki boyutu ise 1.8 m'den az olamaz. [1]

Çıkış mesafelerinin kapıdan **alındığı** (konut ve konaklama tesisleri) bina kullanım sınıflarında, bir koridor içindeki 2 kaçış merdiveni arasındaki mesafe, (Şekil 12) yağmurlama sistemi olmayan yapılarda koridor uzunluğunun yarısından ve yağmurlama sistemi olan yapılarda ise koridor uzunluğunun 1/3'ünden az olamaz.



Şekil 12: Kaçış mesafelerinin kapıdan alındığı konaklama binalarında normal katlarda merdiven konumlandırması [3]

Kaçış merdiveni yuvalarının yerinin belirlenmesinde, en uzak kaçış mesafesi ve kullanıcı yükü esas alınır. Merdiven yuvalarının yeri, binadaki insanların güvenlikle bina dışına kaçışlarını kolaylaştıracak şekilde seçilir. Kaçış merdivenlerinin, başladıkları kottan çıkış kotuna kadar süreklilik göstermesi gerekir.



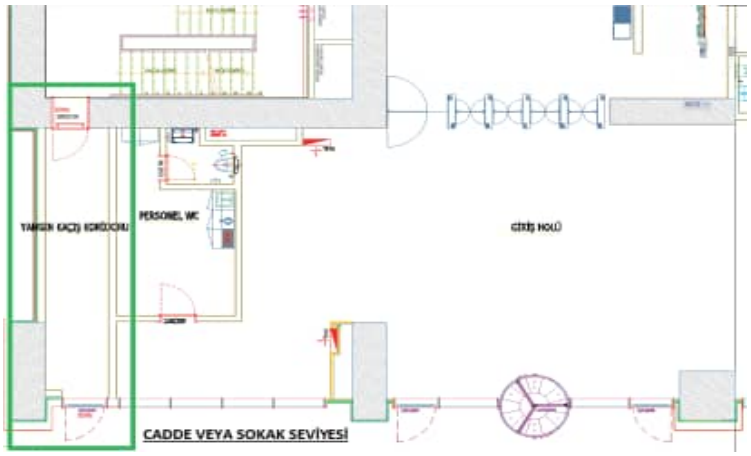
Şekil 13: Bina dışarısına doğrudan ve yağmurlamasız 10 m'de - yağmurlama ile 15 m içerisinde merdiven tahliyesi [3]

Kaçış merdivenlerinin kapasite ve sayı bakımından en az yarısının doğrudan bina dışına açılması gerekir. Kaçış merdiveninin, zemin düzeyindeki dışarı çıkışın görülebildiği ve engellenmediği hol, koridor, fuaye, lobi gibi bir dolaşım alanına inmesi hâlinde, kaçış merdiveninin indiği nokta ile dış açık alan arasındaki uzaklık, kaçış merdiveni bir kattan daha fazla kata hizmet veriyor ise 10 m'yi aşamaz. Yağmurlama sistemi olan yapılarda bu uzaklık en fazla 15 m olabilir. Dışa açık alanın, kaçış merdiveninin indiği noktadan açıkça görülmesi ve güvenlikli bir şekilde doğrudan erişilebilir olması gerekir (Şekil 13).



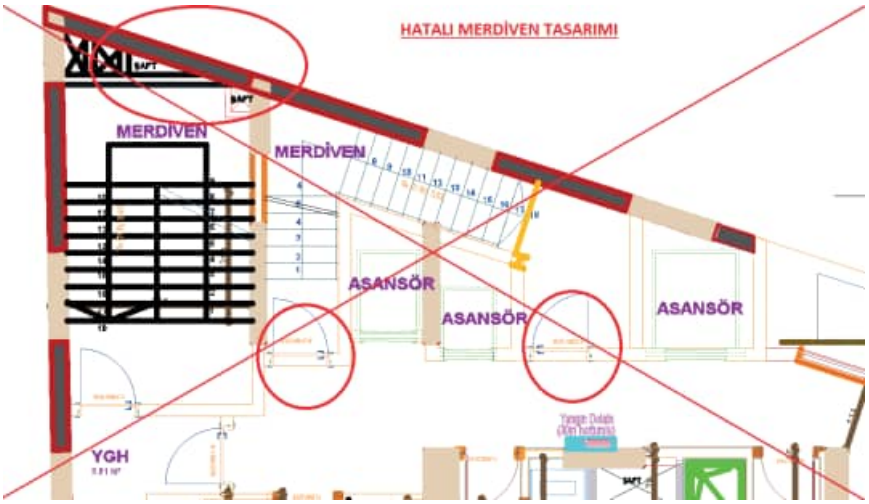
Şekil 14: Bina dışarısına kaçış koridorları ile doğrudan ve yağmurlama ile 15 m içerisinde merdiven tahliyesi [3]

İç kaçış merdivenlerinden tahliye olan kullanıcı yükünü karşılayacak yeterli genişlikte dışa açık kapı bulunması şarttır. (BYKHY Madde 41)



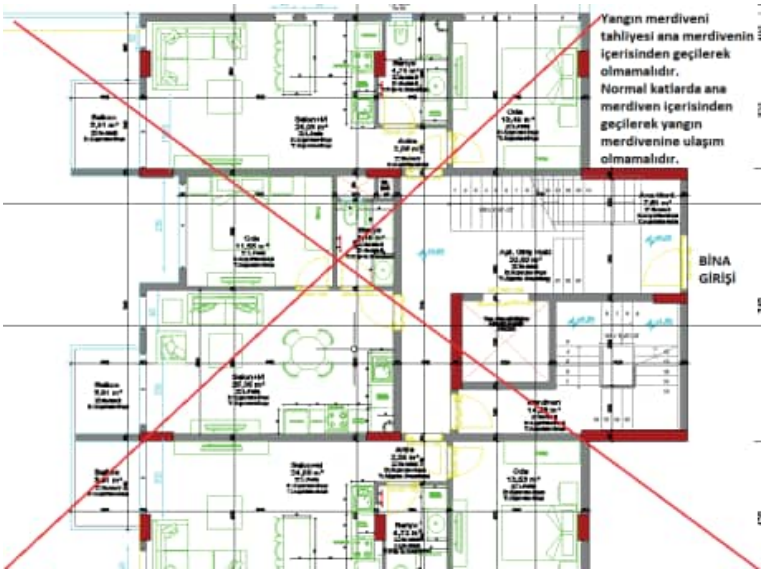
Şekil 15: Bina dışarısına kaçış koridoru ile doğrudan tahliye [3]

Yüksek binalarda özellikle zemin kat yüksek tavanlı ticari alanlarında kat yükseklikleri normal katlardan fazla olduğundan üst katlardan gelen yangın merdiveni zemine inerken dengelenmiş olarak devam edebilmektedir. Bunu engellemek için merdiven kova genişliğinin diğer katlardan farklı yükseklikte olan bu kata göre planlanması ve düz kollu olarak tasarlanması gerekir.



Şekil 16: Genel merdiven içerisinden geçilerek yangın merdivenine hatalı ulaşım [3]

BYKHY Madde 40'a göre yangın hangi noktada çıkarsa çıksın, o kotta bütün insanların çıkışlarının sağlanması için kaçış yollarının ve kaçış merdivenlerinin birbirlerinin alternatifi olacak şekilde konumlandırılması gerekir. Kaçış yolları ve kaçış merdivenleri, yan yana yapılamaz. Kaçış merdivenine giriş ile kat sahanlığının aynı kotta olması gerekir. Genel merdivenlerden geçilerek kaçış merdivenine ulaşılamaz (Şekil 16). [1]



Şekil 17: Yapı yüksekliği 51.5 m'yi geçen konaklama binasında hatalı merdiven ve acil durum asansörü tasarımı [3]

Yukarıdaki görseldeki binanın yapı yüksekliği 51.5 m'den fazla olduğundan ve konaklama binası olduğundan temel mimari önlemlerde 2 adet korunumlu ve yangın güvenlik holleri ile girilen yangın merdivenine ihtiyacı vardır. Merdiven konumlandırmaları BYKHY Madde 39 ve BYKHY Madde 41 'e göre yapılmalıdır. Bir merdivenden geçmeden diğer alternatif merdivene ulaşım sağlanmalıdır, merdivenler yan yana olmamalıdır. Tahliye katında bir merdiven doğrudan bina dışına tahliye olurken diğeri en fazla 15 m'de alternatif bir çıkıştan tahliye olmalıdır. Acil durum asansörü BYKHY Madde 63'e uygun olacak şekilde merdiven yangın güvenlik holü içerisinde yer almalıdır. BYKHY Madde 89'a uygun olacak şekilde basınçlandırma sistemleri olmalıdır (Şekil 17).

BYKHY Madde 89'a göre bodrum kat sayısı 4'ten fazla olan binalarda bodrum kata hizmet veren kaçış merdivenleri basınçlandırılır, yapı yüksekliği 51.5 m'den yüksek olan konutlarda, merdiven kovasının yüksekliği 30,50 m'den fazla olan bütün binalarda kaçış merdivenlerinin basınçlandırılması gerekir. Yapı yüksekliği

30,50 m'den fazla olan konut haricindeki bütün binalarda ve yapı yüksekliği 51,50 m'yi geçen konutlarda BYKHY Madde 96 kapsamında yağmurlama sistemi kurulması mecburidir. Basınçlandırma ve yağmurlama sistemi bina tasarım aşamasında iyi planlanmalı bu sistemlerin ekipmanları ve şaftları için mimari planda yer ayrılmalıdır.



Şekil 18: Yapı yüksekliği 51.5 m'den fazla olan otel yapısında hatalı acil durum asansörü [3]



Şekil 19: Yapı yüksekliği 51.5 m'den fazla olan hastane yapısında hatalı acil durum asansörü [3]



Şekil 20: Yapı yüksekliği 51.5 m'den fazla olan otel yapısında doğru tasarlanmış acil durum asansörü [3]

Kaçış merdiveni ve yangın güvenlik holü kapılarının; duman sızdırmaz ve 4 kattan az kata hizmet veriyor ise en az 60 dakika, bodrum katlara ve 4 kattan daha fazla kata hizmet veriyor ise en az 90 dakika yangına karşı dayanıklı olması şarttır (Şekil 21). Kapıların, kendiliğinden kapatan düzenekler ile donatılması ve itfaiyecilerin veya görevlilerin gerektiğinde dışarıdan içeriye girmelerine imkân sağlayacak şekilde olması gerekir. (BYKHY Madde 47)



Şekil 21: Yangın kapısı iç görünüşü [3]

3. SONUÇ

Pasif yangın önlemlerinden kaçış yolları ve kaçış merdivenleri temel mimari tasarımda düzenlenir ve binanın ömrü boyunca binada kalıcıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi konutlar da dahil olmak üzere yeni yapılarda yapı yüksekliği 21.5 m'den fazla olan tüm binalarda en az iki adet kaçış merdiveni tasarlanması zorunludur. Bu sebeple yüksek yapılarda iç merdiven tasarımının mevzuata uygun yapılması öncelikle binaların hızlı ve güvenli şekilde tahliye edilmesi açısından çok önemlidir. Aynı zamanda bina içerisinden itfaiye teşkilatının güvenli müdahale yapabilmesini de sağlayan korunumlu yangın merdivenleri, basınçlandırma sistemleri, yağmurlama sistemleri, acil durum asansörlerinin doğru planlanması hayat kurtarıcı faktörlerdir.

Günümüzde yüksek binalar genellikle otel, ofis, ticari gibi karışık kullanımlara sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu tasarımlarda öncelikle mimari önlemleri en ağır kullanım sınıfı olan otele göre merdiven ve kaçış yolları düzenlenmeli diğer faaliyetlerdeki en yoğun kullanıcılı katlara göre de kaçış yolları ve genişlikleri değerlendirilmelidir. Yüksek yapılarda statik hesaplamalardan dolayı ve alan kaybetmemek adına merdivenler yalnızca kaçış mesafeleri gözetilerek genellikle binanın merkez bölümüne yapılmaktadır. Bu durum katlarda merdiven konumlanmasında ve merdivenlerin tahliye katındaki konumlandırılmasında, BYKHY Madde 39'da belirtilen koridor uzunluğu oranına, BYKHY Madde 40'da belirtilen merdivenler yan yana yapılamaz hükmüne ve BYKHY Madde 41'de belirtilen merdivenlerin yarısının doğrudan kitle dışarısına diğer yarısının ise yağmurlama olmadan 10 m yağmurlama sistemi ile 15 m'de kitle dışarısına tahliye sağlamasına uygun olmayan tasarımlara sebep olmaktadır.

Ayrıca acil durum asansörü, normal kat asansörü, basınçlandırma, duman tahliyesi, yağmurlama sistemi gibi mimari tasarımı etkileyen önlemlerin de eklenmesi ile merdiven tasarımı daha da karmaşık hale gelebilir. En çok tavsiye edilen çözüm; önce merdivenleri bahsedilen maddelere göre konumlandırmak, katlardan kaçışlar ve tahliye katında binadan son çıkışları oluşturduktan sonra buna göre normal asansörler, acil durum asansörleri, basınçlandırma şaftları, duman tahliye şaftları, doğalgaz şaftları, bacalar, mekanik ve elektrik şaftları ile faaliyete özel kullanım alanları gibi diğer mimari unsurların yerlerini tasarlamak olacaktır.

4. KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Tarih:19.12.2007 Sayı:26735 ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu
[2] City of Chicago Department of Buildings-Basics of the Chicago Constraction Codes-Morning Session 2:Egress and Fire Resistance Rated Constraction-Self Sertification Permit Program (12.10.2019))
[3] İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığı Proje Arşivi
[4] Kılıç, A.; "Dengelenmiş (Balansmanlı) Merdivenler ve Dairesel (Spiral) Merdivenler", s. Yangın ve Güvenlik Dergisi, sayı 138, 8-10, (2010)
[5] Kılıç, A.; "Makas Merdivenler", Yangın ve Güvenlik Dergisi, Sayı 186, 8-9, (2016)
[6] Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 03.07.2017 Sayı: 30113, Madde 31-1-a
[7] Plansız Alanlar İmar Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 2/11/1985 Sayı: 18916 Madde 29-a
[8] The National Fire Protection Association (NFPA) 101 Life Safety Code, 2009, s351
[9] TUYAK Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Eğitimi 2018 (İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığı)
[10] www.zhitov.com/tr/spiral_stairs/

5. KISA ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Edirne'de doğdu. Pamukkale Üniversitesi Biyoloji lisans ve Tıbbi Biyoloji ve Genetik yüksek lisansını tamamladı. 2009 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığında itfaiye eri olarak göreve başladı ve yangın, deprem, trafik kazası, su baskını gibi her türlü acil müdahale ve afet durumunda görev yaptı. 2013 yılından bu yana İtfaiye Denetim ve Önleme Şube Müdürlüğünde görev yapmakta, Proje İnceleme ve Denetim Amiri olarak çalışmaktadır. Aynı zamanda C sınıfı iş güvenliği uzmanıdır.

YANGIN GELİŞİM EVRELERİNİN MÜDAHALE STRATEJİLERİ AÇISINDAN ANALİZİ

Latif ERDOĞAN
İbrahim NAVRUZ
Yusuf ÖZEL

ÖZET

Yangınlar, belirli gelişim evreleri içerisinde ilerleyen dinamik olaylardır. Tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme evresi olarak tanımlanan bu aşamalar, yangının davranışını ve müdahale yöntemlerini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma, nitel doküman incelemesine dayanan anlatısal bir literatür araştırmasıdır. Yapı yangınlarının gelişim evreleri incelenerek bu evrelerin itfaiye müdahale stratejileri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sıcaklık değişimleri, duman oluşumu, hava akımı, yanma rejimi ve yangın yayılım dinamikleri birlikte ele alınmıştır. Erken müdahale aşamasındaki iç müdahale seçenekleri ile tam gelişmiş yangınlarda değerlendirilebilecek dışarıdan su uygulaması, geçişli müdahale ve savunma stratejilerinin operasyonel sonuçları karşılaştırılmıştır. İnceleme, yanlış veya koordine edilmemiş müdahalelerin yangın gelişimini hızlandırabileceğini ve personel güvenliği açısından ciddi riskler oluşturabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak müdahale stratejisinin; yangının gelişim evresi, yanma rejimi, hava akım yolu, su kapasitesi ve yapısal koşullar birlikte değerlendirilerek belirlenmesi, yangın kontrolünü ve operasyonel güvenliği desteklemektedir.

Anahtar Sözcükler: Yangın gelişim evreleri, yangın davranışı, müdahale stratejileri, itfaiye operasyonları.

ANALYSIS OF FIRE DEVELOPMENT STAGES IN TERMS OF FIREFIGHTING INTERVENTION STRATEGIES

ABSTRACT

Fires are dynamic events that progress through identifiable stages. Ignition, growth, fully developed fire and decay directly influence fire behaviour and firefighting methods. This study is a narrative literature review based on qualitative document analysis. It examines structure-fire development and evaluates its implications for fire service intervention. Temperature, smoke production, airflow, combustion regime and fire spread are considered together. Interior attack options during the early stages are compared with exterior water application, transitional attack and defensive strategies that may be required as conditions intensify. The review indicates that inappropriate or uncoordinated actions can increase ventilation, accelerate fire growth and create serious risks for firefighters and occupants. It also shows that the stage of fire development cannot be used as the sole tactical criterion. Combustion regime, flow path, available water delivery, crew position, structural condition and withdrawal options must be evaluated concurrently. A dynamic strategy based on continuous observation and verification of tactical effects provides a more reliable basis for fire control and operational safety.

Keywords: Fire development stages, fire behaviour, firefighting strategies, fire service operations.

1. GİRİŞ

Yapı yangınları; yanıcı maddelerin özellikleri, kompartıman geometrisi, yapı elemanlarının ısıl davranışı, açıklıkların konumu ve ortama ulaşan hava miktarının karşılıklı etkileşimiyle gelişen dinamik olaylardır. Yangının gelişimi yalnızca geçen zamana bağlı doğrusal bir süreç değildir. Isı salım hızı, duman üretimi, termal tabakalaşma, oksijen tüketimi ve hava akımı koşullarında meydana gelen değişimler, yangının davranışını kısa süre içerisinde önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu nedenle yapı yangınlarının değerlendirilmesinde görünen alevlerin büyüklüğü tek başına yeterli bir gösterge oluşturmamaktadır. [1–6]

Yapı yangınlarının gelişimi genel olarak tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme evreleri üzerinden açıklanmaktadır. Bununla birlikte bu evrelerin operasyonel açıdan anlamlı biçimde yorumlanabilmesi için yangının yanma rejiminin de belirlenmesi gerekmektedir. Yangın başlangıçta mevcut yakıtın miktarı, yüzey alanı ve yanma özellikleri tarafından sınırlandırılabilirken, kapalı hacimde oksijenin azalmasıyla birlikte havalandırma kontrollü hâle gelebilmektedir. Bu durumda ısı salım hızında ve görünür alevlerde meydana gelen azalma, yangının güvenli biçimde sönmekte olduğunu göstermeyebilir. Yeterli ısı ve yanıcı gaz birikiminin devam ettiği bir ortamda havalandırma profilinin değişmesi, yangının yeniden ve daha şiddetli biçimde gelişmesine neden olabilmektedir. [1–6]

Modern yapılarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik yalıtım uygulamaları, hava sızdırmaz yapı kabukları ve dayanıklı pencere sistemleri, yangının ihtiyaç duyduğu hava miktarını sınırlandırabilmektedir. Buna karşılık sentetik esaslı iç mekân malzemeleri yüksek miktarda ısı ve yanıcı piroliz ürünü oluşturabilmektedir. Bu koşullar, müdahale ekiplerinin dışarıdan sınırlı yangın belirtisi gözlemesine rağmen yapı içerisinde sıcak, yakıt bakımından zengin ve havalandırma değişikliklerine duyarlı bir ortam bulunmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle “az duman” veya “görünür alev bulunmaması” gibi göstergelerin düşük risk anlamına geldiği kabul edilmemelidir. [1–6]

Tam ölçekli konut yangını deneyleri, zorla giriş amacıyla ön kapının açılmasının dahi yangının havalandırma koşullarını değiştirdiğini ortaya koymuştur. Kapı veya pencere açılmasıyla sağlanan hava, havalandırma kontrollü yangının ısı salım hızını artırabilmekte; yeni açıklıklar yangın ile dış ortam arasında yeni hava akım yolları oluşturabilmektedir. Deney sonuçları, hava girişinin zamanında su uygulamasıyla karşılanmaması hâlinde yangının büyüdüğünü ve yapı içerisindeki yaşanabilir koşulların hızla bozulduğunu göstermektedir. Bu nedenle giriş, arama, havalandırma ve söndürme faaliyetlerinin birbirinden bağımsız işlemler olarak değil, aynı yangın dinamiğini etkileyen eş zamanlı operasyonlar olarak yönetilmesi gerekmektedir. [1–6]

Yangının büyüme evresinden tam gelişmiş yangın evresine ani ve sürekli geçişi flashover olarak tanımlanmaktadır. Büyüme evresinde tavanda biriken sıcak gaz tabakası, taşınım ve ışınım yoluyla kompartımandaki diğer yanıcı yüzeyleri ısıtmakta; artan piroliz ve ısı geri beslemesi yangının gelişimini hızlandırmaktadır. Rollover olarak adlandırılan alev hareketleri flashover öncesinde gözlenebilmekle birlikte, bu iki kavram aynı olayı ifade etmemektedir. Ayrıca oksijen yetersizliği nedeniyle gelişimi baskılanmış bir yangına hava sağlanması sonucunda ortaya çıkabilen havalandırma kaynaklı flashover, başlangıçtan itibaren yeterli hava alan bir yangındaki normal flashover gelişiminden ayrı değerlendirilmelidir. [1–6]

Flashover, backdraft ve yangın gazı tutuşması gibi hızlı yangın gelişimi olaylarının birbirinden ayrılması, müdahale güvenliği açısından temel önem taşımaktadır. Flashover ağırlıklı olarak ısıl geri besleme sonucunda kompartımandaki yanıcı yüzeylerin yaygın biçimde tutuşmasını ifade ederken, backdraft; oksijen bakımından yetersiz, sıcak ve yanıcı gaz bakımından zengin bir ortama hava girmesinin ardından uygun karışım ve tutuşma koşullarının oluşmasıyla meydana gelmektedir. Bu olayların oluşum mekanizmaları, uyarı göstergeleri ve alınması gereken taktik önlemler farklıdır. Kavramların birbirinin yerine kullanılması, yangın koşullarının yanlış değerlendirilmesine ve uygunsuz müdahale kararlarına neden olabilir. [1–6]

Bu çerçevede yangın evresi, müdahale stratejisi için başlangıç noktasıdır; ancak yapı kullanımı, taşıyıcı sistem, yangın yükü, açıklıklar, mahsur kalma olasılığı, erişim, personel, su debisi ve geri çekilme koşullarıyla birlikte yorumlanmalıdır. İç, dış, geçişli veya savunma müdahalesi evre adına bağlanan değişmez reçeteler değildir; strateji yeni yangın ve yapı göstergeleri ortaya çıktıkça güncellenmelidir. [1–6]

Bu çalışmanın amacı, yapı yangınlarının gelişim evreleri ile yanma rejimlerini müdahale stratejileri açısından birlikte analiz etmektir. Tutuşma, büyüme, flashover geçişi, tam gelişmiş yangın ve sönme evreleri; ısı salım hızı, sıcaklık, duman, termal tabakalaşma, oksijen, hava akım yolu, görüş ve yapısal dayanım değişkenleri üzerinden incelenmiş; kapı kontrolü, havalandırma, gaz soğutma, doğrudan su uygulaması ve strateji değişikliğinin personel güvenliğine etkileri değerlendirilmiştir. [1–6]

2. AMAÇ, KAPSAM VE YÖNTEM

2.1. Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, yapı yangınlarının gelişim evreleri ile itfaiye müdahale stratejileri arasındaki ilişkiyi yangın dinamiği ve personel güvenliği açısından analiz etmektir. Yangının yalnızca görünen alev büyüklüğüne göre değil; ısı salım hızı, sıcaklık, duman davranışı, termal tabakalaşma, oksijen durumu, hava akım yolu, görüş koşulları ve yapısal bütünlük gibi değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi esas alınmıştır.

Tutuşma, büyüme, flashover geçişi, tam gelişmiş yangın ve sönme evrelerinin karakteristik özelliklerinin ortaya konulması; yakıt kontrollü, havalandırma kontrollü ve yetersiz havalandırılmış yanma rejimlerinin müdahale kararlarına etkisinin açıklanması; ayrıca rollover, flashover, havalandırma kaynaklı flashover, backdraft ve yangın gazı tutuşması kavramlarının teknik olarak birbirinden ayrılması amaçlanmıştır.

2.2. Kapsam

Çalışma, konut, iş yeri ve benzeri kapalı hacimlerde meydana gelen yapı ve kompartıman yangınlarıyla sınırlandırılmıştır. Açık alan, orman, araç, akaryakıt, basınçlı gaz ve endüstriyel proses yangınları temel kapsam dışında tutulmuştur. Müdahale seçenekleri kapsamında iç müdahale, dışarıdan su uygulaması, geçişli müdahale ve savunma stratejisi; taktik unsurlar kapsamında ise kapı kontrolü, anti-havalandırma, taktik havalandırma, hava akım yolunun yönetilmesi, gaz soğutma ve yakıt yüzeyine doğrudan su uygulaması değerlendirilmiştir.

Herhangi bir taktik bütün yapı yangınlarına uygulanabilecek değişmez yöntem olarak kabul edilmemiştir. Yapının kullanım amacı ve geometrisi, yangın yükü, mahsur kalma ihtimali, açıklıkların durumu, yangının yayılımı, taşıyıcı sistem, personel ve ekipman kapasitesi, su kaynağı ve geri çekilme imkânları karar sürecine dâhil edilmiştir.

2.3. Yöntem

Bu çalışma, nitel doküman incelemesine dayanan anlatısal bir literatür araştırmasıdır. Deney, anket, görüşme veya bağımsız saha araştırması gerçekleştirilmemiştir. Proje dosya kütüphanesindeki akademik kitaplar, hakemli makaleler, tam ölçekli deney raporları, standartlar, resmî eğitim dokümanları, ulusal sempozyum bildirileri ve operasyonel teknik yayınlar incelenmiştir. Literatür taraması Temmuz 2026 tarihinde yayıncı platformları ve resmî kurum arşivleri üzerinden güncellenmiş; “compartment fire development”, “ventilation-controlled fire”, “under-ventilated fire”, “flashover”, “backdraft”, “flow path”, “door control”, “gas cooling”, “transitional attack”, “firefighter injury” ve bunların Türkçe karşılıkları kullanılmıştır. Özellikle 2016–2026 dönemindeki hakemli çalışmalar, tam ölçekli deneyler, hesaplamalı akışkanlar dinamiği temelli araştırmalar ve güncel resmî mevzuat önceliklendirilmiştir. [4,7–9,29–39]

Kaynaklar; yapı yangınlarıyla doğrudan ilişkili olma, yazar veya kurum bilgisinin belirlenebilirliği, bibliyografik bilgilerin doğrulanabilirliği, bulguların müdahale stratejileriyle ilişkilendirilebilmesi ve diğer güvenilir kaynaklarla karşılaştırılabilirliği ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Deneysel ve hakemli çalışmalar ile akademik kitaplar temel kanıt düzeyinde; standartlar ve resmî teknik raporlar kurumsal çerçevede; operasyonel

yayınlar ise saha uygulamalarının yorumlanmasında yardımcı kaynak olarak kullanılmıştır. Kaynağı veya yayın bilgisi belirlenemeyen içerikler ve doğrulanamayan sayısal iddialar dışlanmıştır. [4,7–9]

İncelenen bilgiler ısı salım hızı, sıcaklık, duman, termal tabakalaşma, oksijen durumu, hava akım yolu, görüş, yapısal dayanım, itfaiyeci güvenliği ve müdahale stratejisi değişkenlerine göre sınıflandırılmıştır. Sonuçlar kesin müdahale reçeteleri olarak değil, olay yerindeki dinamik risk değerlendirmesini destekleyen karar ölçütleri olarak yorumlanmıştır. [4,7–9]

3. YAPI YANGINLARININ GELİŞİM EVRELERİ

Yapı yangını evreleri, yangının zamana bağlı görsel bir sınıflandırmasından daha fazlasını ifade eder. Her evrede enerji üretimi, duman hareketi, oksijen tüketimi, görüş ve yapısal maruziyet farklılaşır; ancak evre adı tek başına yanma rejimini veya doğru taktiği belirlemez.

3.1. Tutuşma ve Başlangıç Evresi

Tutuşma ve başlangıç evresi, bir ısı kaynağının yanıcı madde üzerinde yeterli enerji oluşturması sonucunda yanmanın başladığı ve yangının henüz sınırlı bir alanda geliştiği dönemi ifade etmektedir. Yanmanın başlayabilmesi için yakıt, oksijen ve yeterli aktivasyon enerjisinin uygun koşullarda bir araya gelmesi gerekir. Katı yanıcı maddelerde tutuşma çoğunlukla malzemenin ısınması, pirolize uğraması ve açığa çıkan yanıcı gazların hava ile karışarak tutuşması sonucunda gerçekleşir. Başlangıçta yanma, alevsiz veya için için yanma biçiminde ortaya çıkabileceği gibi doğrudan alevli yanma şeklinde de gelişebilir [1,3,10].

Başlangıç evresinde kompartımandaki oksijen düzeyi çoğunlukla normal atmosfer koşullarına yakındır. Bununla birlikte yangın büyüdükçe oksijen tüketimi artar ve yanma ürünleri ortam havasının yerini almaya başlar. Yangının sınırlı ve hava sızdırmaz bir hacimde meydana gelmesi durumunda, büyüme evresine tam olarak ulaşmadan önce bile oksijen yetersizliği ortaya çıkabilir. Bu durumda yangının ısı salım hızı azalabilir veya alevli yanma geçici olarak durabilir. Ancak ortamda sıcak yakıt yüzeyleri ve yanıcı gazlar bulunmaya devam ediyorsa, sonradan oluşan bir hava girişi yangının yeniden hızlanmasına yol açabilir. ABD İç Güvenlik Bakanlığı (Department of Homeland Security–DHS) tarafından desteklenen Underwriters Laboratories (UL) tam ölçekli konut yangını araştırmaları, yangının ilk tutuşan nesneden diğer eşyalara yayılması sırasında bile kompartımanın sızdırmazlık durumuna bağlı olarak havalandırma kontrollü hâle gelebileceğini göstermektedir [1,3,4,10].

Tutuşma ve başlangıç evresi; yerel yanma, görece sınırlı toplam ısı salım hızı ve çoğunlukla yakıt kontrollü gelişimle tanımlanır. Bununla birlikte evrenin süresi sabit değildir; sızdırmazlık, yakıt düzeni ve geç algılama, ekiplerin olay yerine beklenenden ileri koşullarda ulaşmasına neden olabilir. [1,3,10]

3.2. Büyüme Evresi

Büyüme evresi, başlangıçta sınırlı bir yakıt üzerinde gelişen yangının çevresindeki yanıcı maddelere yayılmaya başladığı, ısı salım hızının yükseldiği ve kompartıman genelindeki termal koşulların belirgin biçimde ağırlaştığı dönemdir. Bu evrede alev yüzeyi genişler, yanmaya katılan yakıt miktarı artar ve yangından açığa çıkan enerji çevredeki malzemelerin ısınmasını hızlandırır. Yangının gelişme hızı; yakıtın türü ve yerleşimi, yanıcı yüzeylerin birbirine uzaklığı, kompartıman geometrisi, ısı kayıpları ve ortama sağlanan hava miktarına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. [1,2,4,11]

Büyüme evresinin ileri aşamalarında duman tabakası içerisindeki yanıcı gazlar tutuşabilir ve tavan altında alev hareketleri gözlenebilir. Bu çalışmada rollover, sıcak gaz tabakası içinde yerel ve aralıklı alev dillerinin oluşması; flameover ise alevlenmenin tavan boyunca daha sürekli ve geniş bir alana yayılması için kullanılmaktadır. Her iki olay da gaz fazındaki yakıtın yanmasını ifade eder. Terminoloji bütün kaynaklarda aynı

biçimde standartlaştırılmadığından bazı operasyonel yayınlarda iki terim birbirinin yerine kullanılabilmektedir. [1,2,4,11]

Büyüme evresinde ısı salım hızı ve ısıl geri besleme artarken sıcak gaz tabakası gelişir, görüş azalır ve oksijen talebi yükselir. Yangın yeterli hava bulursa flashovera ilerleyebilir; yetersiz hava koşullarında ise flashoverdan önce havalandırma kontrollü hâle geçebilir. [1,2,4,11]

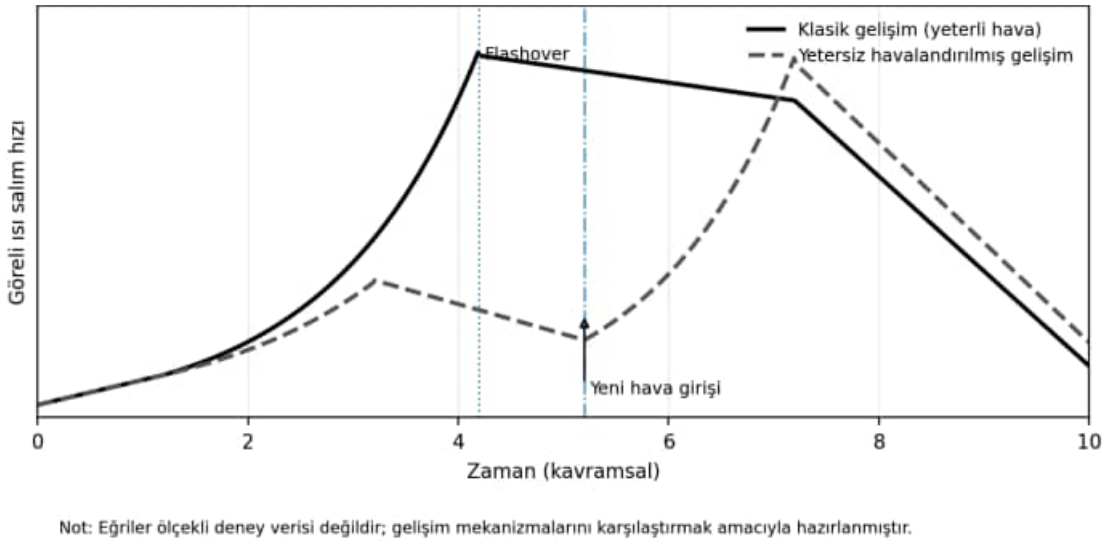
3.3. Flashover Geçişi

Flashover, yangının büyüme evresinden tam gelişmiş yangın evresine ani ve süreklilik gösteren biçimde geçişini ifade etmektedir. Bu nedenle flashover, bağımsız ve uzun süre devam eden bir yangın evresi değil; kompartıman içerisindeki termal koşulların kısa sürede değiştiği kritik bir geçiş olayıdır. Geçişin ardından yangın, başlangıçtaki tek bir nesne veya sınırlı yakıt grubu üzerinde gelişen yerel karakterini kaybederek kompartımandaki yanıcı yüzeylerin büyük bölümünü kapsayan yaygın bir yanmaya dönüşür. [1,2,11,12]

Flashover gelişimi, yangının yeterli hava aldığı klasik büyüme süreciyle sınırlı değildir. Oksijen yetersizliği nedeniyle gelişimi baskılanmış ancak sıcaklığını ve yanıcı gaz üretimini sürdüren bir yangında, kapı veya pencerenin açılmasıyla yeni hava sağlanabilir. Yangın yeniden alevlenerek kısa sürede büyüyebilir ve tam gelişmiş duruma geçebilir. Bu olay havalandırma kaynaklı flashover olarak tanımlanmaktadır. Normal flashoverda kritik ısı birikimi, büyüyen yakıt yüzeyi ve artan yanma nedeniyle oluşurken; havalandırma kaynaklı flashoverda yangının yeniden hızlanmasını başlatan temel değişiklik oksijen beslemesinin artmasıdır. Her iki olayda da nihai geçiş, artan ısıl geri besleme ve yaygın piroliz sonucunda meydana gelir. [1,2,11,12]

Flashover geçişi; hızla artan ısı salım hızı, yoğun ısıl geri besleme, yaygın piroliz ve yanıcı yüzeylerin büyük bölümünün yangına katılmasıyla karakterizedir. Klasik ve havalandırma kaynaklı flashover benzer sonuçlara ulaşsa da ilkinde ısıl geri besleme, ikincisinde yeni oksijen beslemesi gelişimi başlatan temel değişkendir. [1,2,11,12]

Klasik gelişim ile yetersiz havalandırılmış yangının hava girişi sonrasındaki yeniden büyümesi Şekil 1'de kavramsal olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Klasik ve yetersiz havalandırılmış yapı yangını gelişiminin kavramsal karşılaştırması.

Kaynak: [1–6,11–14] kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

3.4. Tam Gelişmiş Yangın Evresi

Tam gelişmiş yangın evresi, kompartıman içerisindeki yanıcı maddelerin büyük bölümünün yanmaya katıldığı ve yangının ulaşabileceği en yüksek şiddet düzeylerine yaklaştığı dönemdir. Bu evre çoğunlukla flashover sonrasında ortaya çıkmakla birlikte, bütün yapı yangınlarının mutlaka flashover geçirerek tam gelişmiş

duruma ulaşacağı kabul edilmemelidir. Yangının gelişim biçimi; yakıtın dağılımı, kompartıman geometrisi, açıklıkların büyüklüğü, ısı kayıpları ve müdahalenin zamanlamasına bağlı olarak değişebilir. [2,4,7,8]

Tam gelişmiş evre, yangının mutlaka savunma stratejisiyle yönetilmesi gerektiği anlamına gelmez. Müdahale stratejisi; kompartımanın büyüklüğü, yangının erişilebilirliği, yapısal bütünlük, mahsur kalma ihtimali, ekiplerin konumu ve uygulanabilir su debisi birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Güvenli bir noktadan yangın bölmesine yeterli miktarda su ulaştırılabiliyorsa ısı salım hızı hızla azaltılabilir. Buna karşılık su debisinin yangının ürettiği enerjiye göre yetersiz kalması, yangın merkezine erişilememesi veya yapısal kararlılığın bozulması iç operasyonların sürdürülebilirliğini ortadan kaldırabilir. [2,4,7,8]

Tam gelişmiş evre; geniş yanma alanı, yüksek ısı salım hızı, ağır termal koşullar, çok düşük görüş ve artan yapısal maruziyetle tanımlanır. Yangın çoğunlukla havalandırma kontrollüdür; ancak şiddeti ve sürdürülebilirliği açıklıklar, yakıt yükü, kompartıman geometrisi ve ısı kayıplarıyla birlikte değerlendirilmelidir. [2,4,7,8]

3.5. Sönme Evresi

Sönme evresi, yangının ısı salım hızının ve görünür alev şiddetinin azalmaya başladığı dönemdir. Bu azalma temel olarak iki farklı nedenle ortaya çıkabilir: yanabilir yakıtın tükenmesi veya yanmayı sürdürecek oksijen miktarının yetersiz hâle gelmesi. Bu iki durum dışarıdan benzer belirtiler gösterebilse de operasyonel açıdan aynı anlamı taşımaz. Yakıtın büyük ölçüde tüketildiği gerçek bir sönme sürecinde yangının yeniden büyüme potansiyeli azalırken, oksijen yetersizliği nedeniyle baskılanmış bir yangın havalandırma koşulları değiştiğinde yeniden hızla gelişebilir. [4,13,14]

Sönme evresinde yeniden alevlenme riski iki biçimde ortaya çıkabilir. Birincisi, yeterince soğutulmamış katı yakıtların kor hâlinde yanmayı sürdürmesi ve daha sonra yeniden alevlenmesidir. İkincisi ise oksijen yetersizliği nedeniyle baskılanmış yangına kapı, pencere, çatı veya duvar açıklığı yoluyla yeni hava sağlanmasıdır. İkinci durumda yangın yalnızca yerel olarak yeniden tutuşmayabilir; biriken yanıcı gazların miktarı, sıcaklığı ve hava ile karışma biçimine bağlı olarak havalandırma kaynaklı flashover, yangın gazı tutuşması veya uygun koşullarda backdraft tehlikesi ortaya çıkabilir. [4,13,14]

Sönme evresinde ısı salım hızı ve görünür alevler azalırken artık ısı, toksik gazlar, gizli odaklar ve yapısal dayanım kaybı sürebilir. Temel ayrım, gerilemenin yakıt tükenmesi ya da etkili soğutmadan mı, yoksa oksijen yetersizliğinden mi kaynaklandığının belirlenmesidir. [4,13,14]

Yangın evrelerinin müdahale açısından temel özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Yangın gelişim evrelerinin müdahale değişkenleriyle karşılaştırılması.

Evre	Enerji ve sıcaklık	Duman / tabakalaşma	Oksijen ve rejim	Başlıca tehlike	Müdahale odağı
Tutuşma / başlangıç	Yerel ve görece sınırlı; hızlı büyüme mümkündür.	Yerel duman sütunu; tabaka henüz sınırlı olabilir.	Çoğunlukla yeterli oksijen ve yakıt kontrollü gelişim.	Gizli yayılım, toksik ürünler, yanlış düşük risk algısı.	Erken keşif, hedefli su, yayılım ve can güvenliği kontrolü.
Büyüme	Isı salım hızı ve radyant geri besleme artar.	Sıcak gaz tabakası gelişir ve alçalır.	Yakıt kontrollü kalabilir veya erken havalandırma kontrolüne geçebilir.	Rollover ve flameover.	Yeterli hat, kapı kontrolü, gaz ve yakıt soğutması, koordinasyon.
Flashover geçişi	Kısa sürede yaygın termal ağırlaşma.	Tabakalaşma bozulur; gaz ve alev hacmi genişler.	Oksijen talebi hızla yükselir.	Yaşanabilirliğin kaybı, ekiplerin çıkış yolunun bozulması.	Enerjiyi hızla azaltma; ilerleme koşulları yoksa geri çekilme.
Tam gelişmiş	Geniş yanma alanı ve yüksek termal maruziyet.	Yoğun, sıcak, toksik ve yanıcı gaz üretimi.	Çoğunlukla havalandırma kontrollü.	Yapısal dayanım kaybı, yayılım ve yetersiz debi.	Yüksek etkili su; dışarıdan enerji azaltma, iç müdahale, geçişli müdahale veya savunma kararının yenilenmesi.
Sönme	Isı salım hızı azalır; artık ısı sürer.	Soğuyan fakat toksik duman; gizli odaklar bulunabilir.	Yakıt tükenmesi veya oksijen yetersizliği ayrılmalıdır.	Yeniden alevlenme, backdraft, yangın gazı tutuşması ve yapısal risk.	Kontrollü açma, aktarma, sürekli solunum koruması ve termal doğrulama.

Kaynak: [1–8,10–14] kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

4. YANMA REJİMİ

Yanma rejimi, yangının enerji üretimini o anda hangi unsurun sınırladığını açıklar. Yakıt kontrollü ve havalandırma kontrollü rejimler, yangın evreleriyle ilişkili olmakla birlikte aynı sınıflandırma değildir; yangın operasyon boyunca bir rejimden diğerine geçebilir.

4.1. Yakıt Kontrollü Yangın

Yakıt kontrollü yangın, yanma hızının ve ısı salım hızının ortama ulaşan oksijen miktarından çok, yanmaya katılan yakıtın özellikleri tarafından belirlendiği yangın rejimidir. Bu durumda kompartımanda mevcut hava, yanma reaksiyonunun gereksinimini karşılayabilecek düzeydedir. Yangının büyüklüğünü sınırlayan temel etken oksijen eksikliği değil; yakıtın yanma yüzeyi, piroliz hızı, kimyasal yapısı, geometrik yerleşimi ve çevresindeki diğer yanıcı maddelere ısı aktarımıdır. [1–3,10]

Yakıt kontrollü rejimde oksijen mevcut olmakla birlikte kompartımanın her noktasında aynı miktarda bulunmayabilir. Yangının çevresinde ve sıcak gaz tabakasında oksijen oranı azalırken zemine yakın bölgelerde ve hava giriş açıklıklarının çevresinde daha yüksek oksijen düzeyleri bulunabilir. Bu nedenle "yakıt kontrollü" ifadesi kompartıman içerisinde oksijen tüketiminin gerçekleşmediği anlamına gelmez; yalnızca mevcut oksijenin, o andaki yanma hızını sınırlayan temel değişken olmadığını ifade eder. [1–3,10]

Yakıt kontrollü rejimde yangının gücünü yanmaya katılan yakıt miktarı, piroliz hızı, alev yayılma özellikleri ve yüzeylere aktarılan ısı belirler. Bu rejim çoğunlukla başlangıç ve büyüme evrelerinde görülür; düşük risk anlamına gelmez ve yeterli ısıl geri besleme altında flashovera ilerleyebilir. [1–3,10]

4.2. Havalandırma Kontrollü Yangın

Havalandırma kontrollü yangın, yanma hızının ve ısı salım hızının mevcut yakıt miktarından çok, kompartımana ulaşabilen oksijen miktarı tarafından sınırlandırıldığı yangın rejimidir. Kompartımanda yanmaya katılabilecek yeterli miktarda yakıt bulunmasına rağmen kapı, pencere ve diğer açıklıklardan giren hava, bu yakıtın tamamının yanması için gerekli oksijeni karşılayamaz. Yangının flashoverdan önce oksijen yetersizliği nedeniyle bu rejime geçmesi, yetersiz havalandırılmış yangın koşulu olarak tanımlanır. Bu özel durumda alevlerin azalması, sıcak yüzeylerin, pirolizin ve yanıcı gaz birikiminin sona erdiğini göstermeyebilir. [2,4,6,13]

Kapının açılmasının ardından zemine yakın seviyede hızlı hava girişi, dumanın açıklıktan tünel biçiminde hareket etmesi veya dumanın altından belirgin biçimde içeri hava çekilmesi, havalandırma kontrollü yangın olasılığını güçlendiren göstergelerdir. DHS tarafından desteklenen UL tam ölçekli konut yangını deneylerinde, ön kapı açıldıktan sonra gözlenen hızlı hava girişi ve duman hareketi havalandırma sınırlamasının önemli belirtileri arasında değerlendirilmiştir. Bununla birlikte tek bir belirti üzerinden kesin sınıflandırma yapılmamalı; dumanın hızı, yoğunluğu, sıcaklığı, açıklıklardaki hareketi ve yapıdan alınan diğer bilgiler birlikte yorumlanmalıdır. [2,4,6,13]

Havalandırma kontrollü rejimde yanma hızını kompartımana ulaşan oksijen sınırlar. Görünür alev veya dumanın azalması, sıcak yüzeylerin ve yanıcı gaz birikiminin sona erdiğini göstermeyebilir; açıklık değişiklikleri yangının kısa sürede yeniden büyümesine yol açabilir. [2,4,6,13]

4.3. Yanma Rejiminin Değişimi ve Müdahale Açısından Önemi

Bir yapı yangınının yanma rejimi olay boyunca sabit kalmaz. Yangın; yakıt miktarı, piroliz hızı, mevcut oksijen, açıklıkların durumu, yapı geometrisi ve müdahale faaliyetleri arasındaki etkileşime bağlı olarak yakıt kontrollü rejimden havalandırma kontrollü rejime veya ters yönde geçebilir. Bu nedenle yanma rejimi, olayın başlangıcında bir kez belirlenerek operasyon boyunca geçerli kabul edilecek değişmez bir sınıflandırma değildir. Yangın davranışındaki ve havalandırma profilindeki her önemli değişiklikten sonra yeniden değerlendirilmelidir. [4,6,13,15]

Müdahale ekiplerinin gerçekleştirdiği giriş, arama, havalandırma ve yapı açma faaliyetleri yangının yanma rejimini doğrudan etkileyebilir. Ön kapının zorla açılması dahi bir havalandırma işlemi niteliğindedir. Kapının açılmasıyla içeri giren hava, havalandırma kontrollü yangının yeniden büyümesini başlatabilir. DHS tarafından desteklenen UL havalandırma araştırmasında, yangına hava eklenmesine rağmen uygun sürede su uygulanmadığında yangının büyüdüğü ve güvenlik koşullarının kötüleştiği ortaya konulmuştur. Bu nedenle zorla giriş, hortum hattının hazırlanmasından ve yangına su ulaştırma kapasitesinden bağımsız düşünülmemelidir. [4,6,13,15]

Yanma rejimi, yapı yangını boyunca yakıt, oksijen, açıklıklar ve müdahale faaliyetlerinin etkileşimine bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle yakıt veya havalandırma kontrolü, tek seferlik bir sınıflandırma değil; önemli her açıklık, su uygulaması ve yangın davranışı değişikliğinden sonra yeniden değerlendirilmesi gereken bir değişkendir. [4,6,13,15]

5. HIZLI YANGIN GELİŞİMİ TEHLİKELERİ

Rollover, flameover, flashover, backdraft ve yangın gazı tutuşmaları kısa sürede ağır termal veya basınç koşulları oluşturabilir. Bu olayların ortak yönleri kadar mekanizma farklılıklarının da bilinmesi, uygun risk kontrolünün seçilmesi açısından zorunludur.

5.1. Rollover / Flameover

Rollover ve flameover, kompartımanın üst bölümünde biriken yanıcı yangın gazlarının tutuşmasıyla ortaya çıkan gaz tabakası alevlenmeleridir. Alevler, doğrudan yanan katı yakıt yüzeyinden bağımsız olarak gaz fazındaki yakıt içerisinde oluşur ve sıcak gaz hareketiyle tavan, koridor veya açıklık yönünde ilerleyebilir. [8,11,12,16]

Terminoloji bütün yayınlarda aynı biçimde kullanılmamaktadır. Bu çalışmada rollover, sıcak gaz tabakası içinde yerel, aralıklı ve hareketli alev dillerinin oluşmasını; flameover ise bu alevlenmenin tavan boyunca daha sürekli ve geniş bir alana yayılmasını ifade etmektedir. Her iki olay da gaz fazındaki yakıtın yanmasıdır ve kompartımandaki katı yakıtların tamamının yangına katıldığını tek başına göstermez. [8,11,12,16]

Bu çalışmada rollover, sıcak gaz tabakasındaki yerel ve aralıklı alev dillerini; flameover ise tavan boyunca daha sürekli ve genişleyen alevlenmeyi ifade etmektedir. Ayrım evrensel biçimde standartlaşmadığından değerlendirme, terimden çok alevin konumu, sürekliliği ve termal koşullardaki değişime dayanmalıdır. [8,11,12,16]

5.2. Flashover

Flashover, büyüme evresindeki yerel bir kompartıman yangınının hacimde bulunan yanıcı yüzeylerin büyük bölümünü kapsayan tam gelişmiş yangına ani ve süreklilik gösteren biçimde geçişidir. Temel mekanizma; artan ısı salım hızı, sıcak gaz tabakasının gelişmesi, yüzeylere yönelen taşınım ve ışınım ile yaygın pirolizdir. Flashover bağımsız ve kararlı bir evre değil, büyüme ile tam gelişmiş yangın arasındaki kritik geçiştir. [1,2,11,12]

Flashover iki farklı başlangıç yolu üzerinden gelişebilir. Klasik gelişimde yeterli hava alan yangın, artan ısıl geri besleme sonucunda tam gelişmiş yangına geçer. Havalandırma kaynaklı gelişimde ise oksijen yetersizliği nedeniyle baskılanmış, ancak ısı ve piroliz kapasitesini koruyan yangına kapı veya pencerenin açılması ya da mekanik havalandırma yoluyla yeni hava sağlanır. Başlangıç değişkenleri farklı olsa da her iki durumda ortak sonuç, yanıcı yüzeylerin geniş ölçekte yangına katılmasıdır. [1,2,4,11–13]

Flashover olasılığı; alçalan duman tabakası, artan radyant ısı, yaygın yüzey pirolizi ve hava girişinden sonra hızlanan gelişim gibi göstergelerin birlikte yorumlanmasıyla değerlendirilir. Klasik veya havalandırma kay-

naklı gelişim ayrımı, olayın nedenini açıklarken ortak sonuç kompartıman genelinde yaşanabilirliğin hızla kaybedilmesidir. [1,2,4,11–13]

5.3. Backdraft

Backdraft, oksijen bakımından yetersiz ve yanıcı gaz bakımından zengin bir kompartımana yeni hava girmesi sonucunda, karışımın yanıcılık aralığına ulaşması ve uygun bir tutuşma kaynağıyla karşılaşmasıyla meydana gelen hızlı yanma olayıdır. Bu olay çoğunlukla belirgin bir basınç artışı, sıcaklık yükselmesi ve açıklıklardan dışarı doğru alev ve gaz hareketiyle karakterizedir. Backdraft, havalandırma kaynaklı flashoverla benzer başlangıç koşullarına sahip olabilse de aynı olay değildir. [12,14]

Backdraft ile havalandırma kaynaklı flashover arasındaki temel fark, baskın gelişim mekanizmasıdır. Havalandırma kaynaklı flashoverda oksijen girişi yangının yeniden büyümesini sağlar; artan ısıl geri besleme ve piroliz sonucunda kompartımandaki yanıcı yüzeyler yaygın biçimde yangına katılır. Backdraftta ise önceden birikmiş yakıt bakımından zengin gaz karışımı, hava girişi ve tutuşma sonucunda hızlı yanar ve belirgin basınç artışı oluşturur. Havalandırmadan sonra meydana gelen her güçlü alevlenmenin backdraft olarak adlandırılması teknik açıdan doğru değildir. [12,14]

Backdraftın ayırıcı niteliği, önceden birikmiş yakıt bakımından zengin gazların hava girişi ve tutuşma sonrasında hızlı yanmasıyla belirgin basınç etkisi oluşturmasıdır. Değerlendirme tek bir uyarı işaretine değil; duman, akış, sıcaklık, alev ve kompartıman özelliklerinin birlikte yorumlanmasına dayanmalıdır. [12,14]

5.4. Yangın Gazı Tutuşması

Yangın gazı tutuşması, flashover ve backdraft tanımlarına uymayan ancak yangın sırasında oluşan yanıcı gazların uygun miktarda hava ve bir tutuşma kaynağıyla karşılaşması sonucunda meydana gelen hızlı yanma olaylarını kapsayan genel bir kavramdır. Bu olaylar çoğunlukla yangın merkezinden farklı bir hacimde, dumanın sızdığı komşu odalarda, asma tavanlarda, yükseltilmiş döşeme boşluklarında, tesisat şaftlarında, kaplama arkalarında veya çatı boşluklarında gelişir. Yangın gazlarının görünür yangın bölmesinden uzaklaşabilmesi, tehlikenin yangın merkezinin dışında ve ekiplerin beklemediği bir bölgede ortaya çıkmasına neden olabilir. [12,16]

Parlama ile duman patlaması arasındaki temel fark da basınç etkisidir. Parlamada alev yayılımı baskınken, duman patlamasında yanmanın hızla gerçekleşmesi ve hacmin sınırlı olması nedeniyle daha belirgin basınç artışı ortaya çıkar. Bununla birlikte olaylar arasında kesin ve keskin bir sınır bulunmayabilir. Aynı tür gaz karışımı, hacmin açıklık durumuna ve gaz konsantrasyonuna bağlı olarak sınırlı bir parlama veya daha şiddetli bir duman patlaması oluşturabilir. [12,16]

Yangın gazı tutuşması; piroliz veya yanma sonucu oluşan gazların başka bir hacimde hava ve tutuşma kaynağıyla karşılaşmasıyla ortaya çıkan parlama, duman patlaması veya kendiliğinden tutuşma olaylarını kapsar. Tehlikenin yangın merkezinden uzak gizli hacimlerde gelişebilmesi, incelemenin görünen yangın bölmesiyle sınırlandırılmamasını gerektirir. [12,16]

Hızlı yangın gelişimi olaylarının ayırıcı özellikleri Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Hızlı yangın gelişimi olaylarının karşılaştırılması.

Olay	Başlangıç koşulu	Baskın mekanizma	Basınç etkisi	Temel göstergeler	Operasyonel öncelik
Rollover / flameover	Büyüme evresinde yanıcı sıcak gaz tabakası.	Gaz tabakasının yerel veya hareketli tutuşması.	Genellikle sınırlı.	Tavan seviyesinde hareketli alevler, artan ısı ve alçalan tabaka.	Gaz tabakasının soğutulması, yakıt yüzeyine erişim ve iç müdahalenin sürdürülebilirliğinin yeniden değerlendirilmesi.
Flashover (klasik / havalandırma kaynaklı)	Yeterli ısıl geri besleme ve yaygın piroliz; veya sıcak, oksijen yetersiz yangına yeni hava girişi.	Isıl geri besleme ya da oksijen artışıyla yanıcı yüzeylerin geniş ölçekte yangına katılması.	Patlama niteliği baskın değildir; backdrafttan ayrılır.	Hızla artan radyant ısı, yoğun piroliz ve duman tabakasının alçalması; hava girişinden sonra sıcaklık ve alev artışı.	Enerjinin hızla azaltılması, açıklıkların su uygulamasıyla koordine edilmesi, çıkış yolu ve iç müdahalenin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi.
Backdraft	Sıcak, yakıt bakımından zengin ve oksijeni düşük kapalı hacim.	Hava ile karışan gazların gecikmeli hızlı yanması.	Belirgin olabilir.	Atım yapan duman, güçlü emiş, kararmış açıklıklar, sınırlı alev.	Personelin muhtemel basınç çıkış doğrultusundan uzak tutulması; açıklık ve su uygulamasının kontrollü yönetilmesi.
Yangın gazı tutuşması	Yanıcı gazların başka hacimde hava ile karışması.	Parlama, duman patlaması veya kendiliğinden tutuşma.	Hacim ve karışıma göre değişir.	Yangın merkezinden uzakta duman birikimi ve gecikmiş alevlenme.	Gizli hacimlerin kontrollü açılması; tutuşma kaynakları ile gaz hareketinin yönetilmesi.

Kaynak: [11–14,16] kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

6. YANGIN DAVRANIŞI GÖSTERGELERİ

Yangın davranışı göstergeleri, doğrudan görülemeyen yanma sürecinin bina, çevre, duman, hava akımı, ısı ve alev üzerindeki etkileridir. Göstergeler tek başına kesin teşhis üretmez; zaman içindeki değişimleri ve birbirleriyle uyumu üzerinden değerlendirilir.

6.1. Yangını Okuma ve BE-DHIA Modeli

Yangın yerinde bütün değişkenlerin doğrudan ölçülmesi mümkün değildir. Yangının başlangıç zamanı, gerçek yakıt yükü, kompartıman içerisindeki sıcaklık dağılımı, oksijen konsantrasyonu ve gizli boşluklardaki yayılım çoğu zaman tam olarak bilinmez. Bu nedenle yangını okuma, eksik bilgi ve zaman baskısı altında gerçekleştirilen dinamik bir risk değerlendirmesidir. Yangının öngörülebilirliği sınırlıdır ve yapılan değerlendirme yeni bilgiler ortaya çıktıkça sürekli güncellenmelidir. [9,12,16,17]

Yangın davranışının sistematik biçimde değerlendirilmesi için geliştirilen modellerden biri, özgün adıyla B-SAHF ve Türkçe kullanımıyla B-DHIA Model; bina, duman, hava akımı, ısı ve alev göstergelerini birlikte değerlendirmektedir. Daha sonra rüzgâr ve dış çevre koşullarının yangın üzerindeki etkilerinin daha belirgin biçimde dikkate alınması amacıyla çevre veya etraf unsuru eklenmiş ve yapı BE-DHIA biçiminde genişletilmiştir. BE-DHIA; bina, etraf/çevre, duman, hava akımı, ısı ve alev bileşenlerinden oluşmaktadır. [9,12,16,17]

Modern ve hava sızdırmaz yapılarda dışarıdan görülen duman veya alev miktarı, yapı içerisindeki gerçek termal koşulları olduğundan düşük gösterebilir. Açık planlı yapılarda ise duman, sıcak gaz ve alevler daha geniş hacimlere kısa sürede yayılabilir. Yüksek binalarda merdiven boşlukları, asansör kuyuları ve mekanik tesisatlar dumanın dikey hareketini etkileyebilir. Bu nedenle yangının görüldüğü pencere veya odanın değerlendirilmesi tek başına yeterli değildir. [9,12,16,17]

6.2. Duman Göstergeleri

Duman, yapı yangınlarında yanma sürecinin dışarıdan gözlenebilen en kapsamlı göstergelerinden biridir. Dumanın miktarı, yoğunluğu, rengi, hareket hızı, türbülansı, tabakalaşma düzeyi ve yapıdan çıkış biçimi; yangının yeri, gelişim hızı, yanma verimi ve havalandırma koşulları hakkında bilgi sağlayabilir. Bununla birlikte duman tek başına yangının evresini veya hızlı yangın gelişimi türünü kesin olarak belirlemez. Duman göstergeleri; hava akımı, ısı, alev, yapı özellikleri ve çevresel koşullarla birlikte yorumlanmalıdır. [4,12,13]

Duman rengi, yanıcı maddenin türü, yanma verimi, sıcaklık, dumanın yaşı, nem ve ışık koşullarından etkilenir. Beyaz veya açık renkli duman; su buharı, erken piroliz, soğutma etkisi veya dumanın hava ile seyrelmesi sonucunda ortaya çıkabilir. Gri ve siyah duman, is ve yanmamış karbon esaslı parçacıkların arttığını gösterebilir. Kahverengi veya sarı-kahverengi duman ise bazı durumlarda yoğun piroliz ürünleriyle ilişkilendirilmektedir. [4,12,13]

Duman; miktar, yoğunluk, renk, hız, türbülans, tabakalaşma ve çıkış yeri birlikte değerlendirilerek yorumlanmalıdır. Renk veya miktar gibi tek bir özellik kesin sınıflandırma sağlamaz; zaman içindeki açıklanamayan ağırlaşma ise yangının yeri, rejimi veya yayılımına ilişkin mevcut yorumun yeniden sınanmasını gerektirir. [4,12,13]

6.3. Hava Akımı Göstergeleri

Hava akımı göstergeleri, yangının oksijenle beslenme biçimini, sıcak gazların yapı içerisindeki hareket yönünü ve mevcut hava akım yolunu değerlendirmek için kullanılan temel yangın davranışı işaretleridir. Kapı, pencere, merdiven, koridor, şaft ve yapı boşluklarında gözlenen gaz hareketleri; yangının havalandırma durumu, bulunduğu kompartıman ve müdahale faaliyetlerine verebileceği tepki hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Bununla birlikte hava akımı, rüzgâr, baca etkisi, mekanik sistemler ve itfaiyenin oluşturduğu açıklıklardan etkilenebildiği için tek başına kesin bir yangın evresi göstergesi değildir. [4,6,13,15]

Rüzgâr etkisindeki yangınlarda yalnızca rüzgâr hızı değil, açıklıkların rüzgâra göre konumu da önemlidir. Rüzgâr alan cephede pencerenin kırılması, yangına büyük miktarda hava sağlayarak sıcak gazları iç koridorlara ve merdivenlere itebilir. Bu durum özellikle yüksek binalarda ciddi risk oluşturmakla birlikte alçak katlı yapılarda da meydana gelebilir. BE-DHIA modelinin çevre bileşeninin eklenmesinin temel gerekçelerinden biri, rüzgârın yangın davranışını radikal biçimde değiştirebilmesidir. [4,6,13,15]

Hava akımı göstergeleri, yangının oksijen talebi, basınç dağılımı ve sıcak gazların hareket güzergâhı hakkında bilgi verir. İki yönlü akış, nötr düzlem, atım yapan duman, rüzgâr ve baca etkisi birlikte ele alınmalı; açıklıklardaki her değişikliğin akış düzenini yeniden kurabileceği dikkate alınmalıdır. [4,6,13,15]

6.4. Isı Göstergeleri

Isı göstergeleri, yangının enerji üretimi, sıcak gazların hacim içindeki dağılımı, yüzeylere aktarılan termal yük ve koşulların değişim hızı hakkında bilgi sağlayan yangın davranışı işaretleridir. Isı doğrudan gözle görülemediği için; personelin algıladığı termal etki, yapı elemanlarındaki değişimler, termal tabakalaşma, piroliz, cam ve kaplamaların davranışı ile termal görüntüleme verileri üzerinden değerlendirilir. Ancak algılanan ısı veya tek bir sıcaklık ölçümü, yangının evresini ve güvenli çalışma süresini tek başına belirleyemez. [1,2,9,16]

Termal görüntüleme kamerası, yüzeylerden yayılan kızılötesi enerjiyi algılayarak sıcaklık farklılıklarını görüntüler. Yangının yerinin aranması, sıcak gaz tabakasının değerlendirilmesi, mahsur kalanların bulunması, gizli sıcak bölgelerin tespiti ve su uygulamasının etkisinin izlenmesinde önemli bir yardımcı araçtır. Bununla birlikte cihaz doğrudan gaz sıcaklığını ölçmez; yüzey özellikleri, yansımalar, duman, su damlacıkları ve görüş açısı görüntüyü etkileyebilir. Bu nedenle termal kamera verileri diğer yangın davranışı göstergeleriyle birlikte değerlendirilmelidir. [1,2,9,16]

Isı göstergelerinin yorumunda gaz sıcaklığı, yüzey sıcaklığı, radyant ısı ve personelin algıladığı termal etki birbirinden ayrılmalıdır. Güvenilir değerlendirme; tek bir ölçümden çok termal değişimin yönünü, yapı belirtilerini, termal kamera görüntülerini ve su uygulamasına verilen tepkiyi birlikte izlemeye dayanır. [1,2,9,16]

6.5. Alev Göstergeleri

Alev göstergeleri; yangının yeri, yanmaya katılan yakıt miktarı, oksijenle beslenme durumu, sıcak gazların hareketi ve yangının gelişim hızına ilişkin doğrudan gözlenebilen işaretlerdir. Alevlerin varlığı, yokluğu, hacmi, konumu, yönü, sürekliliği, açıklıklardan çıkış biçimi ve zaman içerisindeki değişimi; yangının gelişim evresi ve yanma rejimi hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Bununla birlikte alev, yangının yalnızca görünür bölümünü temsil eder. Yoğun duman arkasında bulunan, yapı boşluklarında ilerleyen veya oksijen yetersizliği nedeniyle baskılanan yangınlarda alevler görülemeyebilir. Bu nedenle alev göstergeleri duman, hava akımı, ısı, yapı ve çevre koşullarıyla birlikte değerlendirilmelidir. [12,16]

Rüzgâr etkisindeki yangınlarda alevler doğal yükselme eğiliminden farklı olarak yatay biçimde yapı içine itilebilir. Rüzgâr alan cephedeki açıklık yangına yüksek miktarda hava sağlarken, sıcak gaz ve alevler koridor, merdiven veya karşı cephedeki açıklıklara doğru taşınabilir. Böyle bir durumda alevlerin yönü, yalnızca yangının yayılma yönünü değil, personel için oluşan yüksek enerjili hava akım yolunu da gösterir. [12,16]

Alevin görünür büyüklüğü tek başına yangın evresini belirlemez. Alevin yakıt yüzeyinde, gaz tabakasında, açıklık dışında veya gizli hacimde bulunması; yönü, sürekliliği ve müdahaleye verdiği tepki, diğer BE-DHIA göstergeleriyle birlikte değerlendirilmelidir. [12,16]

6.6. Göstergelerin Bütüncül Değerlendirilmesi ve Karar Sürecine Aktarılması

Yangın davranışının güvenilir biçimde değerlendirilmesi, bina, çevre, duman, hava akımı, ısı ve alev göstergelerinin birbirinden bağımsız işaretler olarak değil, aynı fiziksel sürecin farklı sonuçları olarak birlikte yorumlanmasını gerektirir. Bir göstergenin operasyonel anlamı; yangının gelişim evresine, yanma rejimine, havalandırma profiline, yapı geometrisine ve göstergenin zaman içerisindeki değişimine bağlıdır. Bu nedenle yangını okuma, belirtilerin kontrol listesinden işaretlenmesi değil, gözlemler arasında neden-sonuç ilişkisi kurulması sürecidir. [8,9,17]

Göstergeler birbiriyle çelişiyorsa bu çelişki göz ardı edilmemelidir. İç ekip sıcaklığın azaldığını ve yangının kontrol altına alındığını bildirirken bina dışındaki dumanın miktarı, koyuluğu ve hızı artıyorsa; yanlış yangın merkezine su uygulanması, gizli hacim yayılımı, başka bir kompartımanın tutuşması veya yeni bir hava akım yolu oluşması ihtimali değerlendirilmelidir. Yangını okuma yaklaşımında zaman içindeki değişimin tek bir anda alınan görüntüden daha değerli olduğu vurgulanmaktadır. [8,9,17]

Yangın davranışı göstergelerinin değeri, tek tek işaretlerin ezberlenmesinden değil, aralarındaki neden-sonuç ilişkilerinin kurulmasından kaynaklanır. Değerlendirme gözlem ile yorumu ayırmalı, alternatif açıklamaları dikkate almalı ve uygulanan taktiğin etkisini yeni göstergelerle doğrulamalıdır. [8,9,17]

7. EVRELERE GÖRE MÜDAHALE STRATEJİLERİ

Müdahale stratejisi, yangın evresinin yanı sıra yanma rejimi, hava akım yolu, can güvenliği, su kapasitesi, ekip konumu ve yapısal durum birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Aynı evredeki iki yangın farklı yapısal ve operasyonel koşullar nedeniyle farklı stratejiler gerektirebilir.

7.1. Tutuşma ve Başlangıç Evresinde Müdahale

Tutuşma ve başlangıç evresinde yangın, çoğunlukla ilk tutuşan nesne veya sınırlı bir yakıt alanı üzerinde

gelişmektedir. Isı salım hızı görece düşüktür, kompartımanın bütününde ağır termal koşullar henüz oluşmamıştır ve yangın çoğunlukla yakıt kontrollüdür. Bu evrede müdahalenin temel amacı, yangının çevredeki yakıtlara yayılmasını ve büyüme evresine geçmesini önlemek için piroliz kaynağını mümkün olan en kısa sürede soğutmaktır. [8,17,18]

Kapı kontrolü özellikle arama ve hortum ilerletme faaliyetleri sırasında önemlidir. Ekip yangın odasına ulaşana kadar giriş kapısının gereğinden fazla açık tutulmaması, yangının büyümesi için kullanılabilir hava miktarını azaltabilir. Bununla birlikte kapı kontrolü, su uygulamasının yerine geçen bir söndürme işlemi değildir. Kapalı kapının arkasındaki yangın ısı üretmeye devam edebilir ve kapı yeniden açıldığında koşullar hızla değişebilir. [8,17,18]

Başlangıç evresinde öncelik, yangının çevredeki yakıtlara yayılmasından önce piroliz kaynağına yeterli su ulaştırmaktır. Girişin havalandırma etkisi, hortum hattının hazırlığı ve gizli yayılım olasılığı doğrulanmalı; başarı yalnız görünür alevlerin kaybolmasıyla değil, ısı ve duman üretiminin kalıcı biçimde azalmasıyla değerlendirilmelidir. [8,17,18]

7.2. Büyüme Evresinde Müdahale

Büyüme evresi, yangının ilk tutuşan yakıttan çevredeki yüzeylere yayıldığı, ısı salım hızının arttığı ve kompartımanın üst bölümünde sıcak gaz tabakasının geliştiği dönemdir. Bu evrede yangının oluşturduğu ısıl geri besleme, yangın merkezinden uzaktaki malzemelerin de ısınmasına ve piroliz üretmesine neden olur. Müdahale geciktikçe yangın yalnızca daha fazla yakıtı etkisi altına almakla kalmaz; sıcak gaz tabakasındaki enerji, radyant ısı ve flashover olasılığı da artar. Bu nedenle büyüme evresindeki temel müdahale amacı, yangının enerji üretimini flashover gerçekleşmeden önce azaltmak ve yaygın piroliz sürecini durdurmaktır. [4,7,11,18,19]

Büyüme evresindeki yangınların tamamı aynı operasyonel koşullara sahip değildir. Erken büyüme döneminde yangın çoğunlukla sınırlı bir yakıt alanını etkilemekte, sıcak gaz tabakası üst seviyelerde bulunmakta ve yangın merkezi erişilebilir durumda olabilmektedir. Geç büyüme döneminde ise duman tabakası alçalabilir, radyant ısı artabilir, birden fazla yüzeyde piroliz başlayabilir; tavan seviyesinde yerel rollover veya daha sürekli ve geniş alana yayılan flameover görülebilir. Bu göstergeler ortaya çıktığında hortum hattının kapasitesi, sıcak gazların soğutulması, yangın merkezine erişim ve korunmuş geri çekilme yolu gecikmeden yeniden değerlendirilmelidir. [4,7,11,18,19]

Büyüme evresinde müdahale, yangının enerji üretimini flashoverdan önce azaltmaya dayanır. Erken dönemde doğrudan yakıt soğutması yeterli olabilirken geç büyümede sıcak gazların kontrolü, dışarıdan enerji azaltma, kapı kontrolü veya daha yüksek söndürme kapasitesi gerekebilir. [4,7,11,18,19]

7.3. Flashover Geçişinde Müdahale

Flashover, büyüme evresindeki yerel yangının kompartımandaki yanıcı yüzeylerin büyük bölümünü kapsayan tam gelişmiş yangına ani ve süreklilik gösteren geçişidir. Bu nedenle flashover sırasında müdahale, ayrı ve kararlı bir yangın evresine yönelik standart bir taktik olarak değerlendirilmemelidir. Operasyonel amaç, geçiş gerçekleşmeden önce sıcak gaz tabakasındaki enerji birikimini azaltmak, piroliz üreten yakıt yüzeylerini soğutmak ve personelin güvenli geri çekilme yolunu korumaktır. Flashover gerçekleşmişse kompartıman içerisindeki koşullar çok kısa sürede kişisel koruyucu donanımın sağlayabileceği korumanın ötesine geçebileceğinden, personelin flashover meydana gelen hacimde çalışmaya devam etmesi güvenli bir müdahale seçeneği değildir. [7,11,17–19]

Arama ekiplerinin yangına müdahale hattının önünde bulunması hâlinde çıkış yolu, kapı konumları ve yangının ilerleme yönü sürekli bildirilmelidir. Yangına müdahale ekibinin su uygulaması gecikiyor veya termal koşullar ağırlaşıyorsa arama ekibinin korunma kapasitesi yeniden değerlendirilmelidir. Can kurtarma önceliği, personelin flashover gerçekleşmek üzere olan kompartımanda korunmasız bırakılmasını gerektirmez.

Kurtarılabilir yaşam olasılığı ile ekibin maruz kalacağı risk birlikte değerlendirilmelidir. [7,11,17–19]

Flashover geçişinde amaç, personeli geçişin gerçekleştiği hacimde tutmak değil, geçişten önce ısıl geri beslemeyi kırmaktır. Sıcak gaz ve yakıt yüzeylerinin soğutulamadığı, hava girişinin sınırlandırılamadığı veya geri çekilme yolunun korunamadığı koşullarda iç müdahale sürdürülmemeli; dışarıdan enerji azaltma veya geçişli müdahale değerlendirilmelidir. [7,11,17–19]

7.4. Tam Gelişmiş Yangın Evresinde Müdahale

Tam gelişmiş yangın evresi, kompartımandaki yanıcı yüzeylerin büyük bölümünün yanmaya katıldığı, ısı salım hızının yüksek seviyeye ulaştığı ve hacmin tamamına yakınında ağır termal koşulların oluştuğu dönemdir. Flashover sonrasında yangının oksijen ihtiyacı önemli ölçüde arttığından, kompartıman yangını çoğunlukla havalandırma kontrollü rejime geçer. Pencere ve kapı açıklıklarından çıkan alevler, kompartıman içerisinde yanamayan yakıt bakımından zengin gazların dış ortam havasıyla karşılaştıktan sonra yanmayı sürdürdüğünü gösterebilir. [7,8,17,18]

Tam gelişmiş yangın evresinin otomatik olarak savunma stratejisi gerektirdiği yönündeki yaklaşım teknik açıdan aşırı genelleyicidir. Yangının tek bir kompartımanla sınırlı olması, taşıyıcı sistemin bütünlüğünü koruması, güvenli bir erişim güzergâhının bulunması ve yeterli söndürme kapasitesinin sağlanması durumunda ofansif veya geçişli müdahale uygulanabilir. Buna karşılık yangının geniş yapı alanına yayılması, taşıyıcı sistemde ciddi dayanım kaybı bulunması, su debisinin yetersiz kalması veya personelin güvenli çalışma alanının korunamaması hâlinde savunma stratejisi gerekli olabilir. National Fire Academy materyalinde de yüksek oranda yangına katılmış yapılarda iç operasyonun uygulanamayabileceği, ancak stratejik kararın yangına katılım oranı ve taktik koşullar birlikte değerlendirilerek verilmesi gerektiği belirtilmektedir. [7,8,17,18]

Tam gelişmiş yangında strateji, evre adına göre otomatik biçimde savunmaya çevrilmemelidir. Yangın sınırlı, yapı bütünlüğü korunmuş ve söndürme kapasitesi yeterliyse dışarıdan enerji azaltma, geçişli veya kontrollü iç müdahale uygulanabilir; yayılım, yapısal bozulma ve yetersiz debi koşullarında savunma stratejisi gerekli hâle gelir. [7,8,17,18]

7.5. Sönme Evresinde Müdahale

Sönme evresi, yangının ısı salım hızının azalmaya başladığı ve alevli yanmanın giderek zayıfladığı dönemdir. Bu azalma, yanıcı maddelerin önemli ölçüde tüketilmesi, yakıt yüzeylerinin soğutulması veya kompartımana sağlanan oksijenin yanmayı sürdüremeyecek düzeyde kalması sonucunda meydana gelebilir. Bu nedenler operasyonel bakımdan aynı anlama gelmez. Yakıtın tüketilmesi veya yeterli su uygulamasıyla başlayan sönme, yangının gerçekten kontrol altına alınmasına işaret edebilirken; oksijen yetersizliğine bağlı gerileme, yeni hava girişinden sonra ikinci bir büyüme evresine dönüşebilir. [8,9,13,14]

Bu nedenle görünür alevlerin azalması, duman çıkışının durması veya sıcaklığın geçici olarak düşmesi yangının söndürüldüğünü tek başına kanıtlamaz. Tam ölçekli konut deneyleri, havalandırma sınırlı yangınlarda flashoverdan önce bir sönme veya gerileme dönemi oluşabildiğini; kapı, pencere veya yangının meydana getirdiği bir açıklık sonrasında ikinci büyüme evresi, flashover ve tam gelişmiş yangının ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Aynı deneylerde, yangın havalandırma kontrollü hâle geldiğinde yapı çatlaklarından çıkan dumanın büyük ölçüde azalabildiği veya tamamen durabildiği belirlenmiştir. [8,9,13,14]

Sönme evresindeki temel görev, yangının neden gerilediğini doğrulamaktır. Aktarma ve son söndürme; gizli odakların açığa çıkarılması, kor hâlindeki yakıtların soğutulması, yeniden alevlenmenin önlenmesi ve yapısal güvenliğin izlenmesi amacıyla sistematik yürütülmelidir. [8,9,13,14]

8. HAVALANDIRMA, HAVA AKIM YOLU VE KAPI KONTROLÜ

Havalandırma, yalnız duman tahliyesi değil, yangına oksijen sağlayabilen ve sıcak gazların hareket yönünü değiştirebilen bir müdahaledir. Kapı kontrolü ve hava akım yolunun yönetimi, söndürme ve arama faaliyetleriyle eş zamanlı planlanmalıdır.

8.1. Taktik Havalandırmanın Amacı ve Temel İlkeleri

Taktik havalandırma, belirli bir operasyonel hedef doğrultusunda yapıdaki hava ve yangın gazı hareketinin kontrollü biçimde değiştirilmesidir. Havalandırmanın uygulanması, kullanılan yöntemin kendisinden önce açık bir müdahale amacının belirlenmesini gerektirir. "Yapıda duman bulunması" tek başına havalandırma yapılması için yeterli gerekçe değildir. Dumanın neden ve hangi güzergâh üzerinden uzaklaştırılacağı, yerine girecek havanın yangını nasıl etkileyeceği ve oluşacak hava akım yolu üzerinde kimlerin bulunduğu değerlendirilmelidir. [4,6,15,17]

Bu amaçların hepsi aynı havalandırma yöntemini gerektirmez. Yangın devam ederken yapılan havalandırma ile yangın kontrol altına alındıktan sonra yapılan duman tahliyesi birbirinden ayrılmalıdır. Yangın söndürülmeden önce gerçekleştirilen havalandırma yanma sürecini doğrudan etkileyebilir. Yangın yeterince soğutulduktan sonra yapılan havalandırmada ise yeniden büyüme riski daha düşük olmakla birlikte gizli yangın ve kor hâlindeki yanma ihtimali devam edebilir. Lambert, ön kapının açılması dâhil doğal havalandırma işlemlerinin yangının gelişimini etkileyebileceğini ve bu etkinin özellikle yetersiz havalandırılmış yangınlarda dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. [4,6,15,17]

Taktik havalandırma, yangına giren hava miktarını ve sıcak gazların hareketini değiştiren aktif bir müdahaledir. Güvenli uygulama; açık bir operasyonel amaca, planlanmış giriş ve çıkışlara, zamanında su uygulamasına ve personelin akış yolu üzerindeki konumunun kontrolüne dayanır. [4,6,15,17]

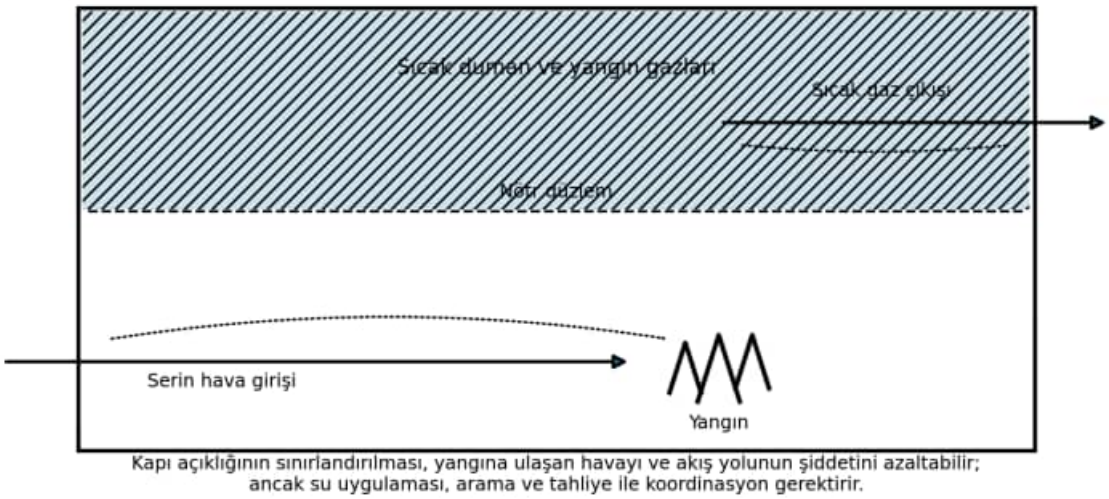
8.2. Flow Path (Hava Akım Yolu) Oluşumu ve Kontrolü

Flow path (hava akım yolu), yapı içerisindeki hava giriş açıklığı ile sıcak gaz çıkış açıklığı arasında oluşan; serin havanın yangına, ısı, duman ve yanma ürünlerinin ise daha düşük basınçlı bölgelere hareket ettiği güzergâhtır. Bu kavram yalnızca dumanın izlediği rotayı ifade etmez. Hava akım yolu boyunca oksijen yangına taşınırken sıcak gaz, alev, ışınımla ısı ve toksik yanma ürünleri yapı içerisinde başka hacimlere yönelir. National Fire Academy, hava akım yolunu yüksek basınçlı bölgelerden düşük basınçlı bölgelere ısı ve duman hareketine imkân veren giriş ile çıkış arasındaki alan olarak tanımlamakta; yangın ile gazların yöneldiği çıkış arasında çalışan personelin önemli risk altında bulunduğunu vurgulamaktadır. [4,6,15]

Örneğin kapalı bir odada başlayan yangında pencere ve oda kapısı kapalıysa belirgin bir hava akım yolu bulunmayabilir. Daire giriş kapısı açıldığında dışarıdan hava yapı içerisine girer; ancak oda kapısı kapalı kaldığı sürece havanın yangına ulaşması sınırlı olabilir. Oda kapısının da açılmasıyla giriş kapısından yangın odasına doğru hava, yangın odasından koridora ve dışarıya doğru sıcak gaz hareketi gelişir. Yangın odasının penceresi daha sonra kırılırsa daire giriş kapısı hava girişine, kırılan pencere ise sıcak gaz çıkışına dönüşebilir. Böylece giriş kapısı ile pencere arasındaki koridor ve odalar güçlü bir akış güzergâhının parçası hâline gelir. [4,6,15]

Hava akım yolu; hava girişinden yangına, yangından sıcak gaz çıkışına uzanan dinamik sistemdir. Açıklıkların konumu personel ve mahsur kalanların maruziyetini değiştirebildiğinden, akış yolu kontrolü yangının enerjisi azaltılıncaya kadar gelişimi sınırlayan tamamlayıcı bir risk yönetimi aracı olarak ele alınmalıdır. [4,6,15]

Bir kapı ve bir çıkış açıklığı arasındaki temel hava akım yolu Şekil 2'de gösterilmiştir. Gerçek yapılarda rüzgâr, merdivenler, şaftlar ve diğer açıklıklar bu düzeni değiştirebilir.



Şekil 2. Kompartıman yangınında hava girişi, sıcak gaz çıkışı ve kapı kontrolünün kavramsal gösterimi.

Kaynak: [4,6,13,15,17] kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

8.3. Kapı Kontrolü ve Anti-Havalandırma

Kapı kontrolü, yapı yangınında bir kapının açıklık alanının ve açık kalma süresinin müdahale amacı doğrultusunda yönetilmesidir. Temel amaç; yangına ulaşan hava miktarını, sıcak gazların komşu hacimlere yayılımını ve personelin bulunduğu güzergâhta oluşabilecek hava akımını sınırlandırırken söndürme, arama ve tahliye faaliyetleri için gerekli erişimi korumaktır. Kapı kontrolü, kapının yalnızca açılması veya kapatılması değil; kapının yangın, personel, mahsur kalan kişiler ve diğer açıklıklarla ilişkisi dikkate alınarak dinamik biçimde yönetilmesidir. [4,13,17]

Anti-havalandırma ise yangının hava alarak büyümesini geciktirmek amacıyla mevcut kapı ve pencerelerin kapalı tutulması, gereksiz açıklıkların oluşturulmaması ve kontrol dışı hava girişlerinin sınırlandırılması yaklaşımıdır. Bu iki kavram birbirine yakın olmakla birlikte aynı değildir. Kapı kontrolü belirli bir kapının operasyon sırasındaki yönetimini ifade ederken anti-havalandırma, yapının genel havalandırma profilini korumaya veya daraltmaya yönelik daha geniş bir taktiktir. Lambert'in aktardığı yaklaşımda anti-havalandırma, özellikle aktif söndürme başlamadan önce yangına hava girişini sınırlandırmak amacıyla kullanılabilecek bir yöntem olarak ele alınmaktadır. [4,13,17]

Kapı kontrolü ve anti-havalandırma, yangına ulaşan havayı ve sıcak gaz yayılımını sınırlandırabilir; ancak söndürmenin yerine geçmez. Zorla giriş ile kapıdan ilerleme, hazır hortum hattı ve yangına etkili su ulaştırma kapasitesiyle koordine edilmelidir. [4,13,17]

8.4. Pozitif Basınçlı Havalandırma ve Pozitif Basınçla Yangına Müdahale

Pozitif basınçlı havalandırma (Positive Pressure Ventilation–PPV), bir fan aracılığıyla yapı girişinde dış ortama göre daha yüksek basınç oluşturularak duman ve sıcak yangın gazlarının önceden belirlenmiş bir çıkış açıklığına yönlendirilmesi yöntemidir. Bu yöntem yangın söndürüldükten sonra duman tahliyesi, yangın kontrol altına alındıktan sonra iç ortam koşullarının iyileştirilmesi veya özel koşullarda aktif yangına müdahalenin desteklenmesi amacıyla uygulanabilir. [15,20]

Pozitif basınç, bitişik ve yangından etkilenmemiş hacimlerin korunması amacıyla da kullanılabilir. Temiz bir yapının veya kompartımanın pozitif basınç altında tutulması, dışarıdaki dumanın bu hacme girişini azaltabilir. Bu uygulama, aktif yangın bölmesine fanla hava vermekten farklıdır ve yangının yayıldığı sınırlar, kapı bütünlüğü ile basınç kaçakları değerlendirilerek uygulanmalıdır. Operasyonel bir örnekte birden fazla fan, bitişik yapıların pozitif basınçlandırılması ve yangın gazlarının soğutulmasıyla birlikte kullanılmıştır; ancak böyle bir uygulama yüksek ekipman, koordinasyon ve uzmanlık gerektiren özel bir vaka olarak değerlendirilmelidir. [15,20]

PPV uygun çıkış açıklığı ve kontrol edilmiş yangın koşullarında duman tahliyesini destekleyebilir. Aktif yangın sırasında uygulanan PPA ise oksijen beslemesini ve akış yolunu doğrudan değiştirdiğinden; doğrulanmış yangın yeri, yeterli su, eğitimli personel, komuta ve sürekli izleme gerektiren ileri düzey bir taktiktir. [15,20]

8.5. Doğal, Yatay ve Dikey Havalandırma

Doğal havalandırma, fan veya başka bir mekanik sistem kullanılmadan; sıcaklık farkı, kaldırma kuvveti, rüzgâr ve yapı içerisindeki basınç farklarından yararlanılarak duman ve sıcak yangın gazlarının açıklıklardan uzaklaştırılmasıdır. Pencerelerin veya kapıların açılması, camların kırılması ve çatı üzerinde açıklık oluşturulması doğal havalandırma kapsamında değerlendirilebilir. Bununla birlikte "doğal" ifadesi, uygulamanın yangın davranışı üzerinde etkisiz veya kendiliğinden güvenli olduğu anlamına gelmez. Oluşturulan her açıklık, yapı içerisine hava girmesine ve yeni bir hava akım yolu meydana gelmesine neden olabilir. [6,15,20]

Doğal havalandırma genel olarak açıklıkların yangına göre konumuna bağlı olarak yatay ve dikey biçimde sınıflandırılmaktadır. Yatay havalandırmada kapı ve pencere gibi yaklaşık aynı kotlarda bulunan açıklıklar kullanılır. Dikey havalandırmada ise sıcak gazların çatı, çatı kapağı, ışıklık, şaft veya üst seviyedeki açıklıklardan çıkarılması amaçlanır. Her iki yöntem de yalnızca açıklık oluşturma işlemi değildir; giriş havasının nereden geleceği, yangının bu havaya nasıl tepki vereceği ve gazların hangi güzergâhtan hareket edeceği birlikte değerlendirilmelidir. [6,15,20]

Doğal, yatay ve dikey havalandırma fan kullanılmasa da oksijen beslemesini ve akış yolunu değiştiren aktif müdahalelerdir. Başarı, yalnız çıkan duman miktarıyla değil; yangının enerji üretiminin kontrol altında kalması, korunacak hacimlerde koşulların iyileşmesi ve yeni tehlikeli güzergâhların oluşmamasıyla değerlendirilmelidir. [6,15,20]

9. SU UYGULAMASI VE GAZ SOĞUTMA

Suyun etkisi, toplam miktarından önce hedefe ulaşıp ulaşmadığı, debisi, damlacık dağılımı ve uygulama süresiyle belirlenir. Gaz soğutma ile yakıt yüzeyinin soğutulması birbirini tamamlayan, ancak aynı amaca sahip olmayan uygulamalardır.

9.1. Suyun Yangını Söndürme Mekanizması

Yapı yangınlarında suyun başlıca söndürme etkisi soğutmadır. Su sıcak gazlara, alev bölgesine veya ısınmış yakıt yüzeylerine ulaştığında çevresinden enerji alır. Bu enerji suyun sıcaklığının yükselmesi, sıvı hâlden buhara dönüşmesi ve oluşan buharın daha yüksek sıcaklıklara ulaşması sırasında tüketilir. Suyun buharlaşması için gereken enerji, suyun yalnızca kaynama sıcaklığına kadar ısıtılması için gereken enerjiden çok daha fazladır. Bu nedenle suyun hedef bölgede buharlaşması, yangından önemli miktarda enerji çekilmesini sağlar. [1,3,18]

Suyun tamamının anında buharlaşması da her koşulda tercih edilen sonuç değildir. Sıcak gazların içinde çok küçük damlacıklar hâlinde buharlaşan su, gaz soğutması bakımından etkili olabilir; ancak damlacıklar yakıt yüzeyine ulaşamadan tamamen buharlaşırsa piroliz kaynağı soğutulamaz. Buna karşılık yüzeye ulaşan fakat ısı transferi gerçekleşmeden akıp giden aşırı büyük su miktarı da düşük verim ve su hasarı oluşturabilir. Bu nedenle uygun damlacık boyutu, hedefe göre değişir. [1,3,18]

Suyun söndürme etkisi, sıcak gazlardan ve özellikle piroliz üreten yakıt yüzeylerinden enerji çekmesine dayanır. Gaz soğutma ilerlemeyi desteklerken kalıcı kontrol, yakıt yüzeyi sıcaklığının ve piroliz hızının düşürülmesini gerektirir; etkinlik toplam su miktarından çok hedefe ulaşma, debi, damlacık yapısı ve uygulama süresiyle ilişkilidir. [1,3,18]

9.2. Gaz Soğutmanın Amacı, Uygulanması ve Sınırlılıkları

Gaz soğutma, kompartımanın üst bölümünde biriken sıcak yangın gazlarına su damlacıkları uygulanarak gaz tabakasının sıcaklığının, enerji içeriğinin ve yüzeylere aktardığı ışınımın azaltılmasıdır. Bu teknik; ekiplerin yangın merkezine ilerlemesini desteklemek, rollover ve flashover gelişimini geciktirmek, sıcak gazların tutuşma olasılığını azaltmak ve geri çekilme güzergâhını geçici olarak korumak amacıyla kullanılabilir. Gaz soğutma, doğrudan yakıt yüzeyine yönelik bir söndürme yöntemi değil; yangının meydana getirdiği üst gaz ortamının kontrol edilmesine yönelik taktik bir uygulamadır. [7,16,18,19]

Gaz soğutmanın temel mekanizması, su damlacıklarının sıcak gazlarla temas ederek enerji almasıdır. Damlacıklar ısınır, bir bölümü buharlaşır ve gaz tabakasının sıcaklığını düşürür. Gaz sıcaklığındaki azalma, gaz hacminin büzülmesine ve alt seviyedeki yanıcı yüzeylere yönelen ışınımın azalmasına katkı sağlar. Sıcak gaz tabakasının enerjisi azaltıldığında yüzeylerin ısınma ve piroliz hızı yavaşlayabilir; böylece flashovera ilerleyen ısıl geri besleme döngüsü sınırlandırılabilir. Lambert'in gaz soğutma yaklaşımında, suyun sıcak duman tabakasında buharlaşarak enerji çekmesi ve yüzeylere aktarılan termal yükü azaltması temel etki olarak açıklanmaktadır. [7,16,18,19]

Hakemli deneysel çalışmalar, gaz soğutmanın etkisinin uygulanan suyun gerçek gaz hacmine erişimi, damlacık dağılımı ve yangının enerji üretimiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Svensson ve Van de Veire tarafından bildirilen deneyler, gaz soğutmanın termal koşulları iyileştirebildiğini; ancak uygulama biçimi ve suyun hedefe ulaşmasının sonuç üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, gaz soğutmanın standartlaştırılmış tek bir lans hareketinden çok ölçülen yangın tepkisine göre yönetilmesini desteklemektedir. [38]

Gaz soğutma, sıcak gaz tabakasının enerjisini ve yüzeylere aktardığı ışınımı azaltan tamamlayıcı bir tekniktir. Uygulamanın etkinliği doğru gaz hacmine yeterli su ulaştırılması ve termal tepkinin doğrulanmasına bağlıdır; yakıt yüzeyinin doğrudan soğutulmasının yerine geçmez. [7,16,18,19]

9.3. Doğrudan, Dolaylı ve Kombine Su Uygulaması

Bazı eğitim kaynaklarında "direct attack" ve "indirect attack" ifadeleri, operasyonun yapı içinden veya dışından yürütülmesini tanımlamak için kullanılabilmektedir. Bu çalışmada kavram karışıklığını önlemek amacıyla iç müdahale (interior attack), dış müdahale (exterior attack) ve geçişli müdahale (transitional attack) personelin konumuna ve taktik sıraya göre; doğrudan, dolaylı ve kombine su uygulaması ise suyun hedefe ulaştırılma biçimine göre kullanılmaktadır. Dışarıdan bir açıklık üzerinden yanan yakıta ulaştırılan su, operasyonel konum bakımından dış müdahale, suyun hedefi bakımından doğrudan su uygulamasıdır. [8,18,21]

Doğrudan su uygulamasının temel amacı, suyu yanmakta veya piroliz üretmekte olan yakıt yüzeyine ulaştırarak yüzey sıcaklığını düşürmektir. Yüzey sıcaklığı pirolizin sürdürülemeyeceği düzeye indirildiğinde gaz fazına aktarılan yakıt azalır, alev hacmi küçülür ve yangının ısı salım hızı düşer. National Fire Academy, yangın söndürmenin temel amacını yanan malzemeleri tutuşma sıcaklığının altına düşürerek alev üretimini durdurmak şeklinde açıklamaktadır. [8,18,21]

Doğrudan su uygulaması yakıt yüzeyini soğutarak piroliz ve ısı salım hızını azaltır; dolaylı uygulama sıcak gaz ve yapı yüzeylerinden enerji çekerek kompartımanın termal koşullarını geçici biçimde kontrol eder. Kombine uygulama bu etkilerin koşullara göre ardışık veya bağlantılı kullanılmasını ifade eder; terimler personelin iç ya da dış konumunu tanımlamaz. [8,18,21]

9.4. Dışarıdan Su Uygulaması ve Geçişli Müdahale

Dışarıdan su uygulaması, suyun yapı dışındaki görece güvenli bir konumdan kapı, pencere veya başka bir açıklık üzerinden yangın bölmesine ulaştırılmasıdır. Bu uygulamanın amacı yalnızca dışarı çıkan alevleri bastırmak değil; yangının ısı salım hızını, kompartıman sıcaklığını ve yapı içerisindeki termal tehdidi içeri

girişten önce azaltmaktır. UL Fire Safety Research Institute (FSRI) tarafından yürütülen Water Mapping, Air Entrainment ve tam ölçekli yangına müdahale araştırmaları, dışarıdan uygulanan suyun hedefe ulaşması, hava sürüklemesi ve kompartıman içindeki enerji azaltma etkilerini incelemiştir. Su yanan yakıt yüzeylerine ulaşıyorsa doğrudan soğutma; sıcak gaz ve yapı yüzeylerinde buharlaşarak genel enerji azaltması oluşturuyorsa dolaylı etki meydana gelir. [4,7,22,23]

Dışarıdan su uygulaması otomatik olarak savunma stratejisi anlamına gelmez. İç müdahale hazırlığı sırasında yangının enerjisinin dışarıdan azaltılması, ardından koşullar doğrulandığında yapıya girilerek yangının doğrudan kontrol edilmesi mümkündür. Bu taktik sıralama geçişli müdahale olarak adlandırılır. Geçişli müdahale, dışarıdan su uygulamasının bağımsız ve uzun süreli bir savunma faaliyetine dönüşmesi değil; uygun koşullarda dış müdahaleden iç müdahaleye geçilmesini içeren planlı bir süreçtir. National Fire Academy materyallerinde geçişli operasyon, dışarıdan başlayan yangın kontrolünün uygun koşullar sağlandıktan sonra iç müdahaleyle devam ettirilmesi şeklinde ele alınmaktadır. [4,7,22,23]

Tam ölçekli konut deneylerine dayanan hakemli çalışmalar, iç müdahale ile dışarıdan su uygulamasını izleyen geçişli müdahalenin yapı içi termal ve toksik koşullar üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. On iki deneyde su uygulamasının yapı genelindeki sıcaklıkları ve toksik maruziyet artış hızını kısa sürede düşürdüğü; iç ve geçişli müdahale arasında sıcaklık azalmasının büyüklüğü bakımından anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir. Aynı deney dizisinin deri modeli analizinde, su uygulamasından hemen sonra yangın odasına yakın noktalarda kısa süreli sıcaklık artışları görülse de yaklaşık 30 saniye içinde değerlerin uygulama öncesi düzeyin altına veya yakınına gerilediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, dışarıdan su uygulamasının otomatik olarak mahsur kalanların koşullarını kötüleştirdiği yönündeki genellemeleri desteklememekte; etkinin hedef, açıklık, zamanlama ve iç operasyonla koordinasyona bağlı olduğunu göstermektedir. [31,32]

Farklı yangın ve yapı koşullarında doğrudan, dolaylı ve geçişli söndürme yaklaşımlarını karşılaştıran çalışmalar da tek bir yöntemin her olay için üstün kabul edilemeyeceğini göstermektedir. Seçim; yangının erişilebilirliği, uygulanabilir debi, personelin konumu ve müdahale sonrasında gözlenen enerji azalmasına göre yapılmalıdır. [39]

Dışarıdan su uygulaması, uygun açıklık ve hedef üzerinden yangının enerjisini içeri girişten önce azaltabilir. Geçişli müdahale ise bu enerji azaltmanın ardından koşullar doğrulandığında iç müdahaleye geçilmesini ifade eder; tamamlanması, gerçek yakıt yüzeylerinin içeriden kontrol edilmesine bağlıdır. [4,7,22,23]

9.5. Su Debisi, Hortum Hattı ve Lans Seçimi

Yapı yangınında suyun söndürme etkisi, yalnızca yangın alanına ulaştırılan toplam su miktarına değil, bu suyun birim zamanda hangi debiyle, hangi akım karakteristiğiyle ve hangi hedefe uygulandığına bağlıdır. Yangının ürettiği enerji, uygulanan suyun soğutma kapasitesinden daha yüksek kalıyorsa görünür alevlerde kısa süreli azalma oluşmasına rağmen yangın büyümeyi sürdürebilir. Bu nedenle hortum hattı ve lans seçiminin temel amacı, personelin taşıyabileceği en küçük hattı kullanmak değil; öngörülen yangının enerji üretimini güvenli sürede azaltabilecek kapasiteyi yangın merkezine ulaştırmaktır. [21–23]

Ayarlanabilir lanslar farklı debi ve püskürtme biçimleri sağlayabilir. Bununla birlikte lans üzerindeki seçici ayarın belirli bir değere getirilmesi, o debinin gerçek olarak sağlandığını kanıtlamaz. Gerekli lans basıncı sağlanmıyorsa seçilen akım deseni ve debi bozulabilir. Bazı otomatik lanslar değişen akışlarda akım biçimini korumaya çalışırken gerçek debinin personel tarafından fark edilmesini güçleştirebilir. Bu nedenle ekip kullandığı lansın düşük ve yüksek basınçta nasıl davrandığını bilmelidir. [21–23]

Hortum hattı ve lans seçimi, yangının enerji üretimine karşı oluşturulan gerçek söndürme kapasitesini belirler. Pompa basıncı tek başına yeterli değildir; debi, sürtünme ve kot kayıpları, akım menzili, reaksiyon kuvveti ve yangının suya verdiği tepki birlikte değerlendirilmelidir. [21–23]

10. PERSONEL VE YAPI GÜVENLİĞİ

Personel güvenliği, yangın davranışı, görev amacı, ekip bütünlüğü, hava yönetimi, su sürekliliği ve yapısal dayanımın birlikte yönetilmesine dayanır. Yapısal çökme tehlikesi yalnız yangın evresiyle değil, taşıyıcı sistem, maruziyet süresi, hasar ve yük aktarımıyla değerlendirilmelidir.

10.1. Dinamik Risk Değerlendirmesi ve Personel Güvenliği

Dinamik risk değerlendirmesi, olay yerindeki tehlikelerin yalnızca ilk varışta değil, operasyon boyunca sürekli belirlenmesi ve müdahale kararlarının değişen koşullara göre güncellenmesidir. Yapı yangını durağan bir olay değildir. Açılan bir kapı, kırılan pencere, su uygulamasının başlaması, rüzgâr yönünün değişmesi, yangının bölme elemanını aşması veya taşıyıcı sistemin zayıflaması, birkaç dakika önce kabul edilebilir görülen bir taktiği geçersiz hâle getirebilir. [8,9,17]

Personelin riski yalnızca bulunduğu noktadaki sıcaklıkla değil, güvenli alana ulaşmak için kat etmesi gereken mesafeyle de belirlenir. Küçük ve tek katlı bir yapıda girişe yakın çalışan ekip, koşullar ağırlaştığında kısa sürede dışarı çıkabilir. Aynı termal koşullar bodrum, geniş depo, üst kat, gemi bölmesi veya yüksek binada çok daha yüksek risk oluşturur; çünkü personelin kendi kendini kurtarma kapasitesi mesafe, kot ve güzergâh karmaşıklığı nedeniyle azalır. National Fire Academy, tehlikenin aynı yangın koşullarında dahi güvenli bölgeye ulaşma mesafesi ve çıkış sırasında karşılaşılacak güçlüklerle arttığını vurgulamaktadır. [8,9,17]

Kontrollü konut yangınlarında yürütülen hakemli bir araştırmada, görev türü ve söndürme taktiğinin itfaiyecilerin çevresel ve fizyolojik ısı yükünü değiştirdiği; su uygulaması sonrasında sıcaklıkların her iki yaklaşımda da düştüğü, geçişli müdahalede bu düşüşün daha hızlı gerçekleştiği bildirilmiştir. Bulgular, yangına yakın olmayan dış görevlerde dahi metabolik yük ve kişisel koruyucu donanım nedeniyle çekirdek sıcaklığın artabileceğini göstermiştir. [33]

Uluslararası resmî veriler, yapı yangınlarının personel yaralanmalarındaki ağırlığını göstermektedir. NFPA'nın 2020–2024 dönemine ilişkin değerlendirmesinde ABD'de belediye itfaiyecileri için yılda ortalama 20.480 yangın yeri yaralanması tahmin edilmiş ve yaralanmaların çoğunun yapı yangınlarında meydana geldiği belirtilmiştir. NIOSH tarafından incelenen 2024 tarihli bir konut yangınında ise arama faaliyeti sırasında meydana gelen hızlı yangın gelişimi ve flashover iki itfaiyecinin yaralanmasıyla sonuçlanmıştır. Bu veriler Türkiye'ye doğrudan genellenemez; ancak termal koşulların, görev konumunun, geri çekilme yolunun ve komuta koordinasyonunun birlikte yönetilmesi gerektiğini destekleyen güncel kanıtlar sunmaktadır. [36,37]

Personel güvenliği, kişisel koruyucu donanımın ötesinde; yangın evresi, akış yolu, yapısal sistem, operasyonel derinlik, su, ekip bütünlüğü, solunum havası ve haberleşmenin birlikte yönetilmesini gerektirir. İç müdahale kararı, her yeni yangın ve yapı göstergesiyle yeniden doğrulanmalıdır. [8,9,17]

10.2. Yapısal Dayanım ve Çökme Riski

Bir yapının "betonarme", "çelik" veya "ahşap" olarak tanımlanması, yangın altındaki davranışını tek başına açıklamaz. Aynı malzemeden yapılmış iki yapı; eleman boyutları, açıklık uzunlukları, bağlantı biçimleri, yangın yalıtımı, kullanım değişiklikleri ve taşıdığı yükler nedeniyle tamamen farklı çökme davranışları gösterebilir. National Fire Academy, yangın içindeki bir yapının fiziksel olarak tahrip edilmekte olduğunu ve içeri giriş kararının yapı türünün güçlü ve zayıf yönleri anlaşılmadan verilemeyeceğini belirtmektedir. Aynı kaynak, hafif kafes çatılı ahşap yapının geleneksel büyük kesitli çatı sistemine göre taşıma kapasitesini daha hızlı kaybedebileceğini vurgulamaktadır. [24]

Korunmamış çelik taşıyıcılar ısıyı kesit boyunca hızlı biçimde iletebilir. İnce kesitli elemanlar ve yüksek yüzey alanı/kütle oranına sahip profiller, ağır ve büyük kesitli elemanlara göre daha hızlı ısınabilir. National Fire Academy, yanmaz yapı sınıfında kullanılan korunmamış çelik elemanların yanmamasına rağmen ısı altında erken dayanım kaybı ve çökme potansiyeli gösterebileceğini; ısıl genleşmenin duvarları itebileceğini,

bağlantıları bozabileceğini ve desteklenen elemanların düşmesine neden olabileceğini açıklamaktadır. [24]

Yakın dönem araştırmalarında deneysel ölçümler ile CFD-sonlu eleman modelleri birlikte kullanılarak yangına maruz çelik elemanların suyla soğutulması incelenmiştir. Janardhan ve arkadaşları, su uygulamasının çelik sıcaklığında ilk 10–15 saniyede belirgin azalma oluşturabildiğini ve incelenen kafes kirişte orta açıklık deformasyonunu sınırladığını göstermiştir. Bununla birlikte yetersiz su kaynağının sıcak gaz hareketini artırabileceği ve yapısal soğutmanın yangın yayılımını tek başına durdurmadığı belirtilmiştir. Bu sonuç, taşıyıcı elemanın soğutulmasının yangın kontrolü, yakıt soğutması ve yeterli su kapasitesinden bağımsız ele alınmaması gerektiğini göstermektedir. [34]

Çökme riski, yapı malzemesi veya geçen süreye dayalı tek bir eşikle belirlenemez. Çelikte dayanım kaybı ve genleşme, betonarmede çatlama ve örtü kaybı, ahşapta kesit azalması, hafif sistemlerde ise ince eleman ve bağlantı başarısızlığı; yapı geometrisi ve yük aktarımıyla birlikte değerlendirilmelidir. [24]

10.3. Yapısal Tehlike Göstergeleri ve Çökme Bölgeleri

Yapı çökmeleri her zaman belirgin ve uzun süreli uyarılarla gelişmez. Hafif kafes sistemleri, bağlantıya bağlı prefabrik yapılar ve gizli boşluk yangınlarında taşıyıcı elemanlar dışarıdan sınırlı belirti göstererek ani kapasite kaybına uğrayabilir. Buna karşılık duvardaki her çatlak, çatıdaki her ses veya tavandan düşen her parça genel çökme anlamına gelmez. Göstergeler; yapı türü, yangının yeri, termal maruziyet süresi ve zaman içindeki değişimiyle birlikte yorumlanmalıdır. [8,9,24]

Yapısal göstergeler; geometrik bozulma, ses, titreşim, toz, parça düşmesi ve gizli boşluk yangını belirtilerini kapsar. Kesin çökme zamanı öngörülemese de göstergelerin ilerleme hızı ve taşıyıcı sistemle ilişkisi, çökme bölgelerinin erken oluşturulması ve operasyonun sınırlandırılması için temel oluşturur. [8,9,24]

10.4. İç Operasyonun Sınırlandırılması ve Savunma Stratejisine Geçiş

Ofansif, savunma ve geçişli stratejiler birbirinden kesin çizgilerle ayrılmış ve olay boyunca değişmeden kalan kategoriler değildir. Yapının bir bölümünde ofansif arama veya yangın kontrolü sürdürülürken, çökmüş ya da tamamen yangına katılmış başka bir bölümde savunma faaliyeti yürütülebilir. Ancak aynı fiziksel alanda bir ekibin içeriden ilerlediği sırada diğer ekibin koordinasyonsuz yüksek kapasiteli dış akım kullanması, "karma strateji" değil, görev çatışması ve personel güvenliği sorunudur. [8,9,17]

Stratejinin temel amacı, personelin belirli bir müdahale biçimini sürdürmesi değil; can güvenliği, yangının kontrolü ve çevre yapıların korunması için en yüksek operasyonel faydayı kabul edilebilir risk düzeyinde sağlamaktır. İlk verilen ofansif kararın sonradan değiştirilmesi başarısızlık olarak değerlendirilmemelidir. Yangının gelişmesi, yapı bütünlüğünün bozulması, su kapasitesinin yetersiz kalması veya mahsur kalanlara ilişkin bilgilerin değişmesi, yeni stratejiyi zorunlu hâle getirebilir. [8,9,17]

İç operasyonun sınırlandırılması veya savunmaya geçiş, tek bir yangın evresine bağlı otomatik karar değildir. Can kurtarma olasılığı, suya tepki, yapısal bütünlük, operasyonel derinlik, çıkış yolları, personel ve sürdürülebilir su kapasitesi birlikte değerlendirilmelidir. Strateji değişikliği; tahliye, personel hesabı, çökme bölgeleri ve dış akımların yeniden koordinasyonuyla uygulanmalıdır. [8,9,17]

11. TARTIŞMA VE TÜRKİYE'YE UYGULANABİLİRLİK

Uluslararası yangın araştırmaları temel fiziksel mekanizmalar açısından güçlü kanıtlar sunmakla birlikte, taktiklerin Türkiye'deki yapı stoku ve teşkilat kapasitesine doğrudan aktarılması uygun değildir. Yerel yapı özellikleri, personel, ekipman, su ve olay komuta düzeni uygulamanın sonucunu değiştirebilir.

11.1. Yangın Evreleri ile Müdahale Stratejileri Arasındaki İlişkinin Bütüncül Değerlendirilmesi

Klasik yangın dinamiği kaynakları evreleri enerji üretimi, ısıl geri besleme ve kompartıman koşulları üzerinden açıklarken; tam ölçekli deneyler bu gelişimin havalandırma sınırlaması ve itfaiye faaliyetleri nedeniyle doğrusal olmayabileceğini göstermektedir. Son on yıldaki hakemli çalışmalar, iç ve geçişli müdahalenin yaşanabilirlik koşulları üzerindeki etkilerini, gaz soğutmayı, personelin termal yükünü ve su uygulamasının yapısal elemanlarla etkileşimini deneysel veya sayısal yöntemlerle incelemiştir. Operasyonel yayınlar ise aynı fiziksel mekanizmaları kapı kontrolü, su uygulaması ve akış yolu yönetimi gibi karar alanlarına taşımaktadır. Bu kanıt düzeyleri birlikte değerlendirildiğinde, evre modelinin açıklayıcı fakat tek başına belirleyici olmayan bir çerçeve sunduğu görülmektedir. [1,2,4,7,9,31–34,38,39]

Özellikle havalandırma kontrollü yangınlarda flashover öncesinde görülen gerileme, klasik evre sıralamasının olay yerinde yanıltıcı biçimde okunabileceğini ortaya koymaktadır. Kapı veya pencere açılmasıyla başlayan ikinci büyüme dönemi, yangın evresi ile yanma rejiminin ayrı fakat ilişkili değişkenler olarak değerlendirilmesini gerekli kılar. [1,2,4,7,9]

Bu nedenle müdahale başarısı, yangının doğru bir terimle adlandırılmasından çok seçilen taktiğin ölçülebilir etkisine göre değerlendirilmelidir. Isı salımının azalması, duman ve akış koşullarının iyileşmesi, korunabilir alanların sürdürülmesi ve personelin çıkış yolunun korunması; stratejinin uygunluğunu gösteren ortak ölçütlerdir. [1,2,4,7,9]

11.2. Türkiye'deki Yapı Stoku ve Müdahale Koşulları Açısından Değerlendirme

Yapı yangını müdahale taktiklerinin Türkiye'ye uyarlanmasında temel sorun, uluslararası literatürde geliştirilen yöntemlerin farklı yapı, ekip ve mevzuat koşullarında üretilmiş olmasıdır. Bir taktiğin dayandığı yangın fiziği değişmez; ancak taktiğin uygulanabilirliği binanın taşıyıcı sistemi, kompartıman düzeni, giriş-çıkış olanakları, sabit yangın tesisatı, araç erişimi ve müdahale ekibinin kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle yabancı bir kaynağın belirli konut tipi, hortum sistemi veya personel düzeni için önerdiği uygulama, Türkiye'de aynı adla ve aynı operasyon sırasıyla kullanılmadan önce yerel koşullara göre değerlendirilmelidir. [20,25,26]

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik; yapıların tasarım, yapım, işletme, bakım ve kullanım süreçlerinde yangının ve doğuracağı can-mal kayıplarının azaltılmasına yönelik önleme, korunma ve sistem hükümlerini düzenlemektedir. Yönetmelik ile Bakanlık tarafından yayımlanan uygulama kılavuzu, yapı ve sistem koşullarının değerlendirilmesi açısından birincil ulusal çerçeveyi oluşturur; ancak yapı içi söndürme taktiklerini ayrıntılı biçimde belirleyen bir operasyon doktrini değildir. Bu nedenle yönetmelik hükümleri, yangının bulunduğu evreye ilişkin taktik reçete olarak değil; kompartıman, kaçış, sabit söndürme sistemleri, itfaiye erişimi ve yapı güvenliği hakkında ön olay bilgisi sağlayan düzenleyici çerçeve olarak kullanılmalıdır. [29,30]

Türkiye'deki yapı stoku ve müdahale koşulları, yangın evresi temelli taktiklerin yerel yapı özelliklerinden bağımsız uygulanamayacağını göstermektedir. Çok katlı betonarme apartmanlarda daire ve merdiven kapılarının yönetimi; bitişik nizam yapılarda eksik çevresel keşif ve komşu yapıya yayılım; bodrumlarda düşey hava akımı ve tek erişim; yüksek binalarda sistem, lojistik ve haberleşme; sanayi yapılarında geniş açıklık ve erken çatı kaybı öne çıkan operasyonel değişkenlerdir. [20,25,26]

Türkiye için bütün belediyeleri kapsayan, aynı sınıflandırma sistemiyle yayımlanmış açık bir yapı yangını veri setine ulaşılamamıştır. Buna karşılık İstanbul İtfaiyesinin 2021–2025 dönemi resmî istatistikleri yerel ölçekte veri sağlamaktadır: 2025 yılında 6.545 konut, 323 fabrika ve 3.677 diğer bina yangını kaydedilmiştir. Bu sayılar tek bir büyükşehre ait olduğundan Türkiye geneline doğrudan yansıtılamaz; ancak konut ve diğer bina yangınlarının yerel müdahale yükündeki önemini göstermektedir. [35]

Türkiye'ye uygun müdahale yaklaşımı, evrensel yangın fiziğinin yerel yapı stoku ve operasyon kapasitesiyle birleştirilmesine dayanmalıdır. Proje ile olay anındaki gerçek yapı arasındaki farklılıklar, tadilatlar, kapalı balkonlar, bodrum kullanımları, kompartıman süreksizlikleri ve erişim engelleri ilk keşfin bir parçası olarak doğrulanmalıdır. [20,25,26]

11.3. Personel, Araç, Ekipman ve Su Kapasitesine Göre Uyarlama

Bir müdahale taktiğinin bilimsel olarak uygun olması, her teşkilat tarafından aynı biçimde uygulanabileceği anlamına gelmez. Kapı kontrolü, eş zamanlı arama, gaz soğutma, geçişli müdahale, pozitif basınçlı havalandırma veya hızlı müdahale ekibi gibi uygulamalar; yeterli personel, uygun hortum-lans sistemi, sürdürülebilir su kaynağı, haberleşme altyapısı ve görevleri koordine edebilecek komuta kapasitesi gerektirir. Bu bileşenlerden biri eksik olduğunda taktiğin uygulanma biçimi değiştirilmelidir. [8,9,21,25]

Kaynak kapasitesi değerlendirilirken yalnızca olay yerine gelen toplam personel ve araç sayısına bakılmamalıdır. Bir personel grubunun olay komutası, pompa kullanımı, hortum ilerletme, arama, kapı kontrolü, merdiven yerleştirme, personel takibi, hızlı müdahale ve rehabilitasyon gibi farklı görevler arasında nasıl dağıldığı belirleyicidir. Olay komuta sistemi eğitim materyallerinde de personel ve birim görevlendirmesinin olayın büyüklüğüne, taktik işlevlere, su ve erişim sorunlarına göre yapılması gerektiği; olay genişledikçe operasyon, su temini, havalandırma, arama, hızlı müdahale ve lojistik gibi görevlerin ayrı sorumluluk alanlarına dönüştüğü görülmektedir. [8,9,21,25]

Türkiye'ye uyarlama, yabancı kaynaklardaki sabit ekip ve araç düzenlerinin kopyalanmasından çok her teşkilatın gerçek personel, su, hortum-lans ve komuta kapasitesini ölçmesini gerektirir. Kritik görevler mevcut kaynaklarla güvenli biçimde eş zamanlı yürütülemiyorsa takviye istenmeli, öncelikler daraltılmalı veya daha koruyucu strateji seçilmelidir. [8,9,21,25]

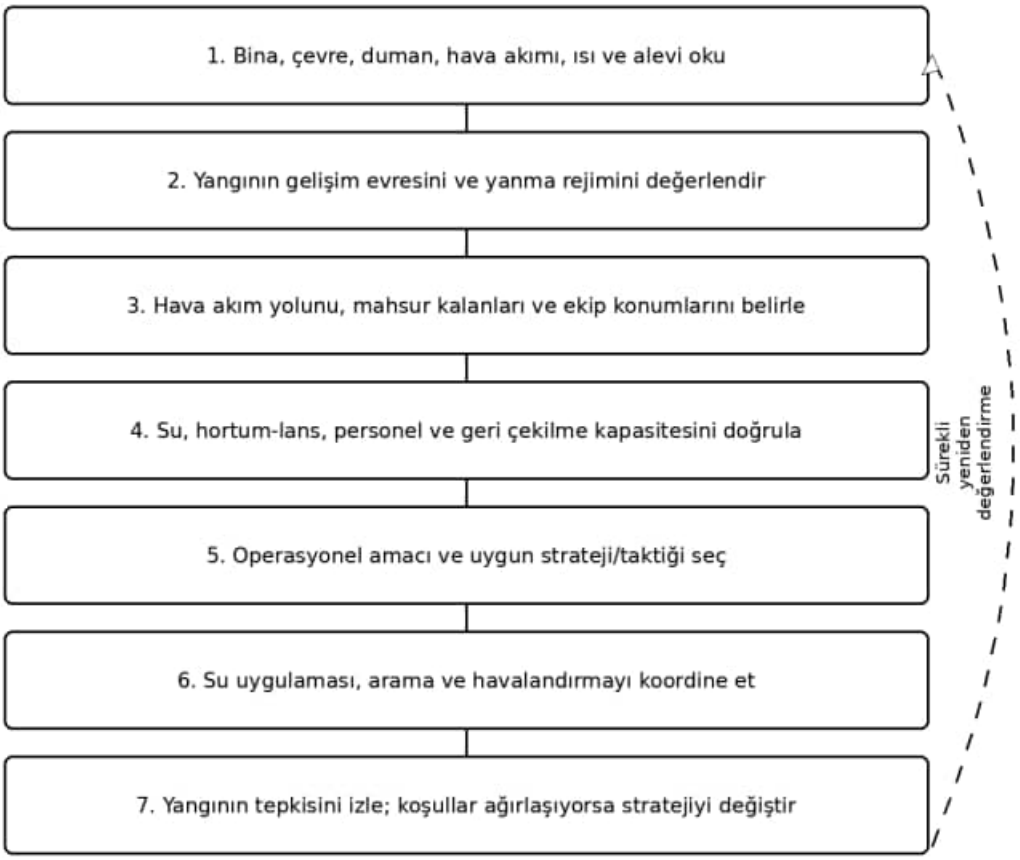
11.4. Eğitim, Olay Komutası ve Kurumsal Standardizasyon

Yapı yangını müdahalesinde bilimsel bilginin operasyonel başarıya dönüşmesi, yalnızca personelin yangın evrelerini teorik olarak öğrenmesine bağlı değildir. Personelin duman, hava akımı, ısı ve alev göstergelerini gerçek zamanlı olarak yorumlayabilmesi; bu değerlendirmeyi kapı kontrolü, su uygulaması, arama, havalandırma ve geri çekilme kararlarına aktarabilmesi gerekir. Bu nedenle eğitim sisteminin temel amacı, belirli teknik hareketleri ezberletmekten çok değişen yangın koşulları altında güvenli karar verebilen ekipler yetiştirmek olmalıdır. [9,27,28]

Yangın davranışı eğitimi ile olay komutası birbirinden ayrı alanlar olarak ele alınmamalıdır. İç ekip yangının hava akım yolunu ve suya verdiği tepkiyi gözlemlerken, olay komutanı bu bilgileri yapısal durum, mahsur kalan olasılığı, kullanılabilir kaynaklar ve diğer ekiplerin faaliyetleriyle birleştirmelidir. İç ekip yangın davranışını doğru okusa bile bu bilgi komuta sistemine aktarılmıyorsa stratejik karar güncellenemez. Benzer şekilde olay komutanı uygun bir strateji belirlese bile kapı, hortum, arama ve havalandırma ekipleri bu stratejiyi ortak terminoloji içinde uygulamıyorsa operasyonel uyum sağlanamaz. [9,27,28]

Kurumsal gelişim; yangın davranışı eğitimi, olay komutası, personel takibi, haberleşme, ekipman performansı ve olay sonrası öğrenmenin aynı sistem içinde yürütülmesine bağlıdır. Ortak terminoloji, gerçek ekipmanla ölçüm, güvenlik sınırları belirlenmiş uygulamalı eğitim ve olay sonrası değerlendirme birbirini tamamlayan unsurlardır. [9,27,28]

Bu çalışmada önerilen dinamik karar modeli Şekil 3'te özetlenmiştir. Model, taktiğin uygulanmasından sonra yangının tepkisinin yeniden gözlenmesini karar sürecinin zorunlu parçası olarak kabul etmektedir.



Şekil 3. Yapı yangınlarında dinamik müdahale karar modeli.

Kaynak: [8,9,17,27,28] kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

11.5. Güncel Bilimsel Kanıt, Mevzuat ve Yerel Veri Düzeyi

Güncel kanıt tabanı, yapı yangını müdahalesinde tek bir taktik yaklaşımın bütün olaylar için üstün olmadığını göstermektedir. Tam ölçekli deneyler dışarıdan ve içeriden su uygulamasının hedefe ulaştığında enerji ve toksik maruziyet artışını azaltabildiğini; personel ve mahsur kalanlar üzerindeki etkinin açıklıklar, zamanlama ve koordinasyona bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Deneysel gaz soğutma çalışmaları ile CFD-FE araştırmaları ise su uygulamasının gaz hareketi, yakıt, yapı elemanları ve yangın yayılımı üzerindeki etkilerinin birbirinden bağımsız olmadığını göstermektedir. [31–34,38,39]

Türkiye'de birincil düzenleyici kaynak BYKHY ve Bakanlık uygulama kılavuzudur. Bu belgeler yapı özellikleri, kompartımanlar, kaçış, sabit sistemler ve itfaiye erişimi açısından müdahale öncesi ve olay anı değerlendirmesine veri sağlar; ancak teşkilatların personel, hortum-lans, su ve komuta kapasitesine göre geliştirmesi gereken operasyon prosedürlerinin yerine geçmez. [29,30]

Yerel resmî istatistikler, belediye düzeyinde önemli bir başlangıç oluştursa da Türkiye genelinde ortak olay sınıflandırması, itfaiyeci yaralanma ve ölüm kayıtları, taktik sıra, açılan açıklıklar, gerçek lans debisi ve yangının suya tepkisi gibi değişkenleri bir araya getiren standartlaştırılmış açık veri bulunmamaktadır. Bu nedenle İstanbul verileri yalnız yerel örnek olarak kullanılmış; Türkiye geneli için oran veya risk tahmini yapılmamıştır. [35]

Uluslararası yaralanma istatistikleri ve NIOSH olay incelemeleri, yapı yangınlarında termal maruziyet, yön kaybı, flashover, yapısal çökme ve koordinasyon sorunlarının süregelen riskler olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte ülkeler arasındaki yapı stoku, görev organizasyonu ve kayıt sistemleri farklı olduğundan bu veriler Türkiye için nicel tahmin üretmek amacıyla değil, araştırma değişkenlerinin belirlenmesi ve yerel kayıt sisteminin geliştirilmesi için kullanılmıştır. [36,37]

11.6. Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, nitel doküman incelemesi ve anlatısal literatür değerlendirmesidir; bağımsız deney, saha ölçümü, anket, mülakat veya istatistiksel olay veri analizi gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle sonuçlar yeni deneysel bulgular olarak değil, mevcut bilimsel, teknik, düzenleyici ve operasyonel kaynakların karşılaştırmalı yorumlanması olarak değerlendirilmelidir. [4,7–9,29–39]

Anlatısal yaklaşımda kaynak seçimi ve araştırmacı yorumu kaçınılmaz sınırlılıklar oluşturur. Hakemli yayınlar, akademik kitaplar, tam ölçekli deneyler ve resmî raporlar önceliklendirilmiş; operasyonel yayınlar saha yorumunu desteklemek amacıyla kullanılmıştır. Türkiye'de ulusal yapı yangını dağılımı, itfaiyeci yaralanma ve ölüm kayıtları, belediyeler arası karşılaştırılabilir standart operasyon prosedürleri, gerçek hortum-lans debileri ve ayrıntılı olay incelemelerine ilişkin açık veri sınırlıdır. Bu çalışma kapsamında yerel debi ölçümü yapılmadığından sayısal hortum-lans önerisi verilmemiş; İstanbul verileri Türkiye geneline genellenmemiştir. Bu eksiklikler, uluslararası bulguların yerel düzeyde nicel olarak sınanmasını kısıtlamaktadır. [29,30,35–37]

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

12.1. Sonuç

Yapı yangını evreleri müdahale kararının temel bileşenlerinden biridir; ancak doğru strateji, evre ile yanma rejimi, hava akım yolu, yapısal durum, can güvenliği ve söndürme kapasitesinin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenebilir. [1,2,4,7,9,17]

Açıklıkların değiştirilmesi, özellikle yetersiz havalandırılmış yangınlarda oksijen beslemesini ve sıcak gaz hareketini yeniden düzenleyebilir. Bu nedenle görünür alev azalması güvenlik göstergesi olarak kabul edilmemeli; giriş ve havalandırma su uygulamasıyla ilişkilendirilmelidir. [1,2,4,7,9,17]

Gaz soğutma sıcak gaz tabakasının enerjisini ve radyant etkisini azaltırken kalıcı yangın kontrolü, suyun ger-

çek yangın bölmesine ve piroliz üreten yüzeylere ulaşmasına bağlıdır. Dışarıdan su uygulaması uygun hedef ve debiyle içeri giriş öncesinde etkili bir enerji azaltma seçeneği olabilir. [1,2,4,7,9,17]

Personel güvenliği; ekip bütünlüğü, haberleşme, hava yönetimi, personel takibi, sürekli su, korunmuş geri çekilme yolu ve yapısal dayanım değerlendirmesinin birlikte sürdürülmesini gerektirir. Koşullar iyileşmiyorsa iç operasyon sınırlandırılmalı veya strateji değiştirilmelidir. [1,2,4,7,9,17]

Uluslararası araştırmalar genellenebilir yangın fiziği ilkeleri sunmakla birlikte taktik uygulamalar Türkiye'deki yapı stoku, personel, ekipman, su ve olay komuta koşullarına göre uyarlanmalıdır. Çalışmanın temel bulgusu, başarılı müdahalenin tek bir taktik adından değil; enerjiyi erken azaltan, akış yolunu yöneten ve kararlarını gözlenebilir etkiye göre güncelleyen dinamik bir operasyon yaklaşımından kaynaklandığıdır. [1,2,4,7,9,17]

12.2. Öneriler

Operasyonel karar ve prosedürler: İlk keşif; bina, yangın ve dumanın konumu, açıklıklar, rüzgâr, mahsur kalma ihtimali, su kapasitesi ve yapısal tehlikeleri içerecek biçimde standardize edilmelidir. Yangın evresi ve yanma rejimi belirlendikten sonra hava akım yolu ile personel konumları ilişkilendirilmeli; su uygulaması, kapı kontrolü, arama ve havalandırma aynı operasyonel amaç altında koordine edilmelidir. İç müdahale için yeterli su, korunmuş geri çekilme hattı, ekip bütünlüğü, haberleşme ve kabul edilebilir yapısal koşullar doğrulanmalıdır. [8,9,17,20,21,24–28]

Su, hortum-lans ve ekipman kapasitesi: Teşkilatlar kullandıkları hortum, lans ve pompa düzenlerinin gerçek debi ve basınç performansını kendi araç, hat uzunluğu, kot ve personel koşullarında ölçmelidir. Hat seçimi yalnız taşınabilirliğe değil, yangının muhtemel enerji üretimini azaltabilecek gerçek debiye göre yapılmalıdır. Pozitif basınçlı havalandırma (Positive Pressure Ventilation–PPV), pozitif basınçla yangına müdahale (Positive Pressure Attack–PPA), dışarıdan su uygulaması, gaz soğutma ve termal kamera kullanımı için ayrı yeterlilik ölçütleri ve açık sınırlılıklar tanımlanmalıdır. [8,9,17,20,21,24–28]

Personel, komuta ve eğitim: Olay komuta sistemi, personel takibi, hızlı müdahale kapasitesi, hava yönetimi ve standart telsiz dili günlük yapı yangınlarından itibaren uygulanmalıdır. Eğitim programları teorik yangın dinamiğinden hortum-lans becerisine, kapı kontrolüne, kontrollü canlı yangına, komuta simülasyonuna ve çok ekipli tatbikata uzanan aşamalı yeterlilik modeliyle yürütülmelidir. Eğitim katılımı tek başına yeterlilik kanıtı kabul edilmemeli; kritik hatalar ve periyodik yenileme gereksinimleri ölçülmelidir. [8,9,17,20,21,24–28]

Türkiye'ye özgü araştırma ve kurumsal öğrenme: Betonarme apartmanlar, tek merdivenli yapılar, kapalı balkonlar, bitişik nizam yapılar, bodrumlar, kapalı otoparklar, prefabrik sanayi yapıları ve yüksek binalar için yerel deneysel ve operasyonel çalışmalar geliştirilmelidir. Yapı yangını ve ramak kala kayıtları taktik sıra, açıklık değişiklikleri, kullanılan hat, su uygulaması, personel ve yapı göstergelerini içerecek biçimde standardize edilmelidir. Üniversite-itfaiye iş birliğiyle elde edilen bulgular eğitim, standart operasyon rehberleri ve yatırım planlarına aktarılmalıdır. [8,9,17,20,21,24–28]

KAYNAKLAR

[1] DRYSDALE, D., "An Introduction to Fire Dynamics", 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2011.

[2] KARLSSON, B.; QUINTIERE, J. G., "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press, 2000.

[3] QUINTIERE, J. G., "Fundamentals of Fire Phenomena", John Wiley & Sons, 2006.

[4] KERBER, S., "Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction", Underwriters Laboratories, 2010.

[5] KERBER, S., Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operational Timeframes, Fire Technology, Cilt 48, Sayı 4, s. 865–891, 2012. DOI: 10.1007/s10694-011-0249-2.

[6] KERBER, S., Analysis of One and Two-Story Single Family Home Fire Dynamics and the Impact of Firefighter Horizontal Ventilation, Fire Technology, Cilt 49, Sayı 4, s. 857–889, 2013. DOI: 10.1007/s10694-012-0294-5.

[7] ZEVOTEK, R.; STAKES, K.; WILLI, J., "Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Full-Scale Experiments", UL Firefighter Safety Research Institute, 2018. DOI: 10.54206/102376/DNYQ2164.

[8] UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION, "Strategy and Tactics for Initial Company Operations: Student Manual", 3rd Edition, 2nd Printing, National Fire Academy, 2016.

[9] UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION, "Command and Control of Incident Operations: Student Manual", 5th Edition, 7th Printing, National Fire Academy, 2024.

[10] LAMBERT, K., "Yangınlarla Dahilden Mücadele Bilgisindeki Değişim", CFBT-BE Teknik Makalesi, Mart 2010, çev. D. Gürer, Türkçe sürüm 1.0, 2016.

[11] LAMBERT, K., "Hızlı Yangın Gelişiminin En Çok Karşılaşılan Türü: Flashover", CFBT-BE Teknik Makalesi, Şubat 2011, çev. D. Gürer, Türkçe sürüm 0.2, 2016.

[12] LAMBERT, K., "Hızlı Yangın Gelişimi: Bir Özet", CFBT-BE Teknik Makalesi, Mart 2013, çev. Y. D. Gürer, Türkçe sürüm 1.0, 2016.

[13] LAMBERT, K., "Havasız Kalan Bir Yangın...", CFBT-BE Teknik Makalesi, Mayıs 2010, çev. D. Gürer, Türkçe sürüm 1.0, 2016.

[14] LAMBERT, K., "Backdraft", CFBT-BE Teknik Makalesi, Eylül 2010, çev. D. Gürer, Türkçe sürüm 0.1, 2016.

[15] LAMBERT, K., "Pozitif Basınçla Havalandırmaya Giriş: Üç Farklı Yaklaşım", CFBT-BE Teknik Makalesi, Ağustos 2012, çev. Y. D. Gürer, Türkçe sürüm 0.6, 2016.

[16] GRIMWOOD, P.; HARTIN, E.; MCDONOUGH, J.; RAFFEL, S., "3D Fire Fighting: Training, Techniques, and Tactics", Fire Protection Publications, Oklahoma State University, 2005.

[17] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, "NFPA 1700: Guide for Structural Firefighting", 2026 Edition, National Fire Protection Association, 2026.

[18] LAMBERT, K., "Su Yangını Neden Söndürür?", CFBT-BE Teknik Makalesi, Ocak 2013, çev. Y. D. Gürer, Türkçe sürüm 1.0, 2016.

[19] LAMBERT, K., "Gazları Soğutmak: Yeni Bir Yaklaşım", CFBT-BE Teknik Makalesi, Eylül 2012, çev. Y. D. Gürer, Türkçe sürüm 1.0, 2016.

[20] SAN DIEGO FIRE-RESCUE DEPARTMENT, "High-Rise Firefighting", SDFD Drill Manual, Chapter 31, Revised February 2023.

[21] HOME OFFICE, "Fire Service Manual, Volume 1: Fire Service Technology, Equipment and Media—Hydraulics, Pumps and Water Supplies", The Stationery Office, 2001.

[22] WEINSCHENK, C.; STAKES, K.; ZEVOTEK, R., "Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Water Mapping", UL Firefighter Safety Research Institute, 2017. DOI: 10.54206/102376/NEVX1787.

[23] WEINSCHENK, C.; STAKES, K.; ZEVOTEK, R., "Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Air Entrainment", UL Firefighter Safety Research Institute, 2017. DOI: 10.54206/102376/GMAX3657.

[24] BUCHANAN, A. H.; ABU, A. K., "Structural Design for Fire Safety", 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2017.

[25] YATIM, M., Yüksek Binalar Yangın Müdahale Stratejileri, Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, İzmir, 3–4 Ekim 2024.

[26] KORGAL, D., Yüksek Binalarda Alınması Gereken Yangın Güvenliği Önlemlerinin BYKHY ve Diğer Yönetmelikler Yönünden İncelenmesi, Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu Bildirileri, s. 154–171, 29–30 Eylül 2022.

[27] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, "NFPA 1400: Standard on Fire Service Training", 2026 Edition, National Fire Protection Association, 2026.

[28] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, "NFPA 1010: Standard on Professional Qualifications for Firefighters", 2024 Edition, National Fire Protection Association, 2024.

[29] BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK, 19 Aralık 2007 tarihli ve 26735 sayılı Resmî Gazete; son değişiklik 1 Temmuz 2025 tarihli ve 32943 sayılı Resmî Gazete, Karar Sayısı: 10026.

[30] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu", Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Mayıs 2026.

[31] KERBER, S.; REGAN, J. W.; HORN, G. P.; FENT, K. W.; SMITH, D. L., Effect of Firefighting Intervention on Occupant Tenability during a Residential Fire, Fire Technology, Cilt 55, s. 2289–2316, 2019. DOI: 10.1007/s10694-019-00864-2.

[32] TRAINA, N.; KESLER, R. M.; KERBER, S.; ZEVOTEK, R.; LEE, T.; HORN, G. P., Ex-Vivo Porcine Skin Model for Estimation of Trapped Occupant Burn Risk in Pre- and Post-Suppression Fire Environments, Fire Technology, Cilt 55, s. 2465–2489, 2019. DOI: 10.1007/s10694-019-00876-y.

[33] HORN, G. P.; KESLER, R. M.; KERBER, S.; FENT, K. W.; SCHROEDER, T. J.; SCOTT, W. S.; FEHLING, P. C.; FERNHALL, B.; SMITH, D. L., Thermal Response to Firefighting Activities in Residential Structure Fires: Impact of Job Assignment and Suppression Tactic, Ergonomics, Cilt 61, Sayı 3, s. 404–419, 2018. DOI: 10.1080/00140139.2017.1355072.

[34] JANARDHAN, R. K.; SHAKIL, S.; HASSINEN, M.; LU, W.; PUTTONEN, J.; HOSTIKKA, S., Impact of Firefighting Sprays on the Fire Performance of Structural Steel Members, Fire Technology, Cilt 58, s. 2405–2440, 2022. DOI: 10.1007/s10694-022-01257-8.

[35] İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İTFAİYE DAİRESİ BAŞKANLIĞI, "İstatistikler 2021–2025", İstanbul, 2026.

[36] CAMPBELL, R., "Municipal Firefighter Injuries on the Fireground: 2020–2024", NFPA Research, Ocak 2026.

[37] NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, "Career Firefighter Seriously Injured During Search Operations in a Residential Structure Fire – Oregon", Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, Report F2024-03, Nisan 2025.

[38] SVENSSON, S.; VAN DE VEIRE, M., Experimental Study of Gas Cooling During Firefighting Operations, Fire Technology, Cilt 55, s. 285–305, 2019. DOI: 10.1007/s10694-018-0790-3.

[39] SÄRDQVIST, S.; JONSSON, A.; GRIMWOOD, P., Three Different Fire Suppression Approaches Used by Fire and Rescue Services, Fire Technology, Cilt 55, s. 837–852, 2019. DOI: 10.1007/s10694-018-0797-9.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Latif ERDOĞAN

1982 yılında Konya'da doğmuştur. Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü'nden mezun olmuştur. 2009 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı Müdahale Şube Müdürlüğünde göreve başlayan Erdoğan; ilerleyen süreçte eğitim ve önleme alanlarında görev

almış, Sivil Savunma Amirliği ile Yangın Önlem ve Eğitim birimlerinde İtfaiye Amirliği görevlerini yürütmüştür. 2015 yılında Önleme ve Eğitim Şube Müdürü olarak görevlendirilmiş; eğitim, denetim ve toplumsal farkındalık çalışmalarını koordine etmiştir. 2016 yılında Japonya'da afet yönetimi ve itfaiyecilik alanında eğitim almıştır. TİKA ve Konya Büyükşehir Belediyesi iş birliğinde farklı ülkelerde düzenlenen Acil Durum ve Afet Müdahale Eğitim Programlarında uluslararası eğitmen olarak görev almış; farklı ülkelerin kurumsal kapasitelerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. İtfaiye ve afet yönetimi alanlarında akademik çalışmaları bulunan Erdoğan, ulusal ve uluslararası projelerin koordinatörlüğünü yürütmüş, gönüllü itfaiyecilik projesi başta olmak üzere birçok projede aktif rol üstlenmiştir. Ayrıca 2015–2025 yılları arasında Konya Büyükşehir Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezinin kurumsal gelişim çalışmalarında görev almıştır. Necmettin Erbakan Üniversitesi Yerel Yönetimler ve Siyaset ile Ankara Üniversitesi Afet Risk Yönetimi alanlarında yüksek lisans eğitimlerini tamamlamış olup, Sakarya Üniversitesi Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Kasım 2024'te Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı görevine getirilmiş olup hâlen bu görevi yürütmektedir.

İbrahim NAVRUZ

5 Kasım 1984 tarihinde Konya'da doğmuştur. Kamu görevine 2009 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığında başlamış; 2014 yılında Konya Büyükşehir Belediyesine naklen atanarak itfaiyecilik, arama kurtarma, eğitim ve operasyon yönetimi alanlarında görev yapmıştır. Afet Yönetimi ile İş Sağlığı ve Güvenliği alanlarında yüksek lisans eğitimlerini tamamlamış, akademik birikimini saha tecrübesiyle bütünleştirerek afet ve acil durum yönetimi alanında uzmanlaşmıştır. AFAD, UMKE ve sivil toplum kuruluşları dâhil olmak üzere çeşitli paydaş kurumlarla ortak tatbikat ve eğitim çalışmaları yürüten Navruz; yurt içindeki belediyelere yönelik eğitim faaliyetlerinin yanı sıra, TİKA ve Konya Büyükşehir Belediyesi iş birliğinde gerçekleştirilen uluslararası programlar kapsamında farklı ülkelerde itfaiye ve arama kurtarma ekiplerine eğitim vermiştir. Ayrıca 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler başta olmak üzere ülkemizde meydana gelen afetlerde arama kurtarma ekiplerinin sevk ve idaresinde görev almıştır. 2025 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı Arama Kurtarma ve Eğitim Şube Müdürü olarak görevlendirilmiş olup hâlen bu görevi yürütmektedir.

Yusuf ÖZEL

18 Ağustos 1996 tarihinde Adıyaman'da doğmuştur. Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı'ndan mezun olmuş, lisans eğitimini Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimi Bölümü'nde tamamlamıştır. Selçuk Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı'nda eğitimini sürdürmektedir. 2020 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığına itfaiye eri olarak atanmıştır. Hâlen Konya Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı Arama Kurtarma ve Eğitim Şube Müdürlüğü bünyesinde itfaiye çavuşu ve eğitmen olarak görev yapmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeyde yürütülen itfaiye, afet ve acil durum eğitim çalışmalarının planlanması ve uygulanması süreçlerine katkı sağlayan Özel; eğitim programlarının geliştirilmesi, uygulamalı eğitim senaryolarının hazırlanması, personel yeterliliklerinin artırılması ve kurumsal eğitim altyapısının güçlendirilmesine yönelik çalışmalarda aktif rol üstlenmektedir. Akademik ve mesleki çalışmalarını yangın güvenliği, yapı yangını dinamikleri, müdahale stratejileri, itfaiyeci güvenliği ve afet yönetimi alanlarında sürdüren Yusuf Özel, teorik bilginin saha uygulamalarıyla bütünleştirilmesine yönelik araştırma ve eğitim faaliyetlerine devam etmektedir.

YANGIN ORTAMINDA HAYATTA KALMA ANALİZİ: İÇ VE DIŞ MÜDAHALE YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRMALI DİNAMİKLERİ

Şemsettin PARLAK
Ramazan AKTEPE

ÖZET

Yangınla mücadelede iç ve dış müdahale yaklaşımlarının etkileri uzun süredir tartışılmaktadır. Özellikle dıştan su uygulamasının yangın ortamını olumsuz etkileyebileceği yönündeki geleneksel kabuller, son yıllarda gerçekleştirilen tam ölçekli deneysel çalışmalar ile yeniden değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, farklı yangın müdahale yöntemlerinin yangın ortamı üzerindeki etkileri, itfaiyeci güvenliği ve mahsur kalan bireylerin hayatta kalma koşulları açısından ele alınmıştır. Tam ölçekli deneyler kapsamında iç müdahale, dıştan su uygulaması ve bu müdahalelerin ardışık kullanımı incelenmiş; sıcaklık değişimleri, gaz konsantrasyonları ve ortamın yaşanabilirlik kriterleri değerlendirilmiştir.

Dıştan su uygulaması sonrasında yapılan ölçümlerde sıcaklık değerlerinde düşüş kaydedilmiş, gaz koşullarında değişimler gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu müdahale sonrasında mahsur kalanlar açısından tehlike seviyelerinde artış tespit edilmemiştir. Elde edilen bulgular, müdahale etkisinin yapı içerisindeki açıklıklar ve akış yolu özelliklerine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, yangın müdahale yöntemlerinin etkilerinin bilimsel veriler ışığında değerlendirilmesi gerektiği ve dış müdahalenin uygun koşullarda güvenli bir uygulama olabileceği görülmektedir.

Anahtar sözcükler: yangın dinamiği, iç müdahale, dış müdahale, hayatta kalma, itfaiyeci güvenliği

SURVIVAL ANALYSIS IN FIRE ENVIRONMENTS: COMPARATIVE DYNAMICS OF INTERIOR AND EXTERIOR INTERVENTION APPROACHES

Şemsettin PARLAK
Ramazan AKTEPE

ABSTRACT

The effects of interior and exterior fire attack strategies have long been debated. Traditional assumptions suggest that exterior water application may negatively influence fire conditions within a structure. However, recent full-scale experimental studies have led to a re-evaluation of these assumptions.

This study examines the effects of different fire attack methods on fire conditions in terms of firefighter safety and occupant survivability. Within the scope of full-scale experiments, interior attack, exterior water application, and their sequential use were analyzed. Temperature changes, gas concentrations, and tenability criteria were evaluated.

Measurements following exterior water application showed a decrease in temperature values and observable changes in gas conditions. Additionally, no increase in hazard levels for trapped occupants was identified after exterior application. The findings indicate that the effectiveness of the intervention varies depending on opening conditions and flow path characteristics within the structure.

In conclusion, fire attack methods should be evaluated based on scientific data, and exterior fire attack may be considered a safe practice under appropriate conditions.

Keywords: fire dynamics, interior attack, exterior attack, survivability, firefighter safety

1- GİRİŞ

Yapı yangınlarında temel amaç, insan yaşamını korurken yangının en kısa sürede kontrol altına alınmasıdır. Buna karşılık bu amaca hangi yolla ulaşılacağı sorusu, uzun yıllar boyunca bilimsel ölçümlerden ziyade saha deneyimleri ve mesleki gelenekler üzerinden yanıtlanmıştır. Birçok ülkede benzer müdahale prensipleri benimsenmiş ve bu prensipler nesilden nesile aktarılmıştır. Yapı içerisine girilerek yapılan (İç müdahale, dahili müdahale) müdahalenin mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesi en güvenli ve en etkili söndürme yöntemi kabul edilirken, yangın bölmesine dışarıdan su uygulanmasının yangını büyüteceği, sıcak gazları yapı içerisine iteceği veya mahsur kalanların yaşam şansını azaltacağı yönündeki görüşler de aynı ölçüde yaygınlaşmıştır.[10] Oysa bu kabullerin şekillendiği dönemin yapıları ile bugünün yapıları aynı değildir. Son otuz yıl içerisinde yapı teknolojileri, iç mekân düzenleri ve mobilya malzemeleri önemli ölçüde değişmiştir. Modern yapılarda açık plan mimari çözümler yaygınlaşmış, sentetik esaslı mobilya ve dekorasyon ürünlerinin kullanım oranı belirgin biçimde artmıştır. Bu değişim sebebiyle yangınların gelişim hızı, duman üretimi ve toksik gaz oluşumu geçmiş dönem yapılarına göre büyük değişimlere uğramıştır. Daha yüksek ısı açığa çıkması ve yangınların kısa sürede havalandırma kontrollü hale gelmesi, geleneksel müdahale yöntemlerinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu hâle getirmiştir.[1]

Modern yangın davranışının anlaşılmasına yönelik en önemli bilimsel katkılar, Underwriters Laboratories Firefighter Safety Research Institute (UL FSRI), National Institute of Standards and Technology (NIST), Illinois Fire Service Institute ve çeşitli üniversiteler tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli deneysel araştırmalarla sağlanmıştır. Bu çalışmalar sayesinde yangın gelişimi, havalandırma etkileri, akış yolu (flow path), su uygulamasının yangın davranışına etkisi ve mahsur kalanların yaşanabilirlik koşulları sayısal verilerle değerlendirilebilmiştir. Böylece uzun yıllardır kabul gören birçok operasyonel yaklaşım ilk kez kontrollü deney ortamında sınanmıştır. Özellikle Steve Kerber ve çalışma arkadaşları tarafından yürütülen araştırmalar sonucunda “havalandırma kontrollü yangın”, “akış yolu”, “kapı kontrolü”, “koordineli müdahale” ve “kademeli müdahale” gibi kavramlar modern yapısal yangınla mücadele doktrinlerinin temel bileşenleri hâline gelmiştir. [1]

Kademeli müdahale çoğu zaman yeni bir kavram olarak sunulsa da, dışarıdan su uygulamasına ilişkin ilk yazılı rehber 1830 yılında Londra İtfaiyesinde James Braidwood tarafından hazırlanmıştır. Yeni olan taktik değil, taktiğin ölçülebilir verilerle sınanması ve işe yaradığının bilimsel olarak kanıtlanmasıdır. [20]

UL FSRI tarafından yürütülen “Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival” adlı araştırma serisi ise doğrudan suyun uygulanma yöntemine odaklanmıştır. Suyun yapı içerisindeki dağılımı (Water Mapping), su akımının sürüklediği hava (Air Entrainment) ve tam ölçekli yangın deneyleri, birbirini tamamlayan üç ayrı çalışma kapsamında ele alınmıştır. Bu araştırmalar, yapı dışından yapılan su uygulamasının sanılanın aksine yangını yapı içerisine “itmediğini”, uygun teknikle gerçekleştirildiğinde yangın ortamındaki sıcaklıkları hızla düşürdüğünü ve yaşanabilirlik koşullarını iyileştirebildiğini ortaya koymuştur. [2-4]

Yangın ortamındaki risk yalnızca sıcaklıkla sınırlı değildir. Karbon monoksit, hidrojen siyanür ve oksijen azalması gibi etkenler, birçok vakada doğrudan alev temasından çok daha erken ölümcül sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle günümüzde yangın ortamı değerlendirilirken toksik gaz maruziyeti ve toplam fizyolojik yük de hesaba katılmakta, ISO 13571 standardında tanımlanan Fractional Effective Dose (FED) yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır.[11] Modern yangınla mücadele anlayışında hedef yalnızca yangını söndürmek değildir; aynı zamanda mahsur kalanların yaşama şansını artırmak, itfaiyecilerin toksinlere, ısıya maruziyetini azaltmak ve yangın gelişimini kontrol altına almaktır. Bu nedenle söndürme, arama-kurtarma ve havalandırma faaliyetleri birbirinden bağımsız işlemler olarak değil, koordineli yürütülmesi gereken operasyonlar olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, güncel bilimsel literatür ışığında yapı yangınlarında uygulanan iç ve dış müdahale taktiklerinin yangın dinamiği, mahsur kalanların yaşanabilirliği ve itfaiyeci güvenliği üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlıyoruz. UL FSRI, NIST ve Fire Technology dergisinde yayımlanan deneysel araştırmalar temel alınarak geleneksel müdahale kabulleri incelenmiş, elde edilen bulguların Türkiye'deki yapısal yangın müdahale uygulamalarına sağlayabileceği katkılar ayrı bir başlık altında tartışılmıştır.

2- YANGIN ORTAMINDA YAŞANABİLİRLİK (TENABILITY)

Yapı yangınlarında meydana gelen ölümlerin önemli bir bölümü doğrudan alev temasından değil, yangının oluşturduğu fiziksel ve kimyasal çevre koşullarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle modern yangın mühendisliği literatüründe "hayatta kalma" yerine "yaşanabilirlik (tenability)" kavramı tercih edilmektedir. Yaşanabilirlik, bir kişinin yangın ortamında geri dönüşü olmayan fizyolojik hasar oluşmadan belirli bir süre yaşamını sürdürebilmesini ifade eder ve yalnızca ölüm riskini değil; bilinç kaybını, hareket kabiliyetinin yitirilmesini ve güvenli tahliye olasılığını da kapsar. [8]

Yaşanabilirliği belirleyen parametreler birbirinden bağımsız değildir. Sıcaklık, radyasyon, toksik gaz ve oksijen seviyesi, maruziyet süresi birlikte etki eder; tek başına hiçbir parametre bir kişinin yaşamını kaybedip kaybetmeyeceğini açıklamaz. Düşük sıcaklıklarda dahi yüksek karbon monoksit konsantrasyonları ölümcül olabilirken, toksik gazların sınırlı kaldığı durumlarda aşırı ısı maruziyeti kısa sürede yaşamı tehdit edebilmektedir. [9] Geçmişte yangın ortamı değerlendirilirken çoğunlukla sıcaklık dikkate alınmıştır. Ancak tam ölçekli deneyler, birçok mağdurun yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce toksik gazlar nedeniyle bilinç kaybına uğradığını göstermiştir. Modern sentetik mobilyaların yanması sonucu ortaya çıkan karbon monoksit ve hidrojen siyanür konsantrasyonları, eski doğal malzemelere kıyasla çok daha hızlı yükselmektedir. [8, 17-19]

Yüksek sıcaklıklar öncelikle solunum yollarını etkiler. Solunan sıcak gazlar üst hava yollarında yanıklara neden olabilirken, uzun süreli maruziyette akciğer dokusunda ciddi hasarlar oluşabilmektedir. Yüksek sıcaklık aynı zamanda vücudun ısı düzenleme mekanizmalarını bozarak kısa sürede fizyolojik çöküşe yol açabilir. Radyasyon sebepli ısı transferi ise doğrudan temas olmaksızın ciddi yanıklar meydana getirebilmektedir. Ortamdaki ikinci kritik tehlike karbon monoksittir. Karbon monoksit hemoglobine oksijenden yaklaşık 200 kat daha güçlü bağlanarak dokuların oksijenlenmesini engeller.[15, 16]

Kişi başlangıçta baş ağrısı ve baş dönmesi yaşarken, maruziyet devam ettikçe bilinç kaybı ve ölüm gelişir. Yangın mağdurlarında ölüm nedenlerinin önemli bir kısmında karbon monoksit zehirlenmesi temel etken olarak belirlenmiştir. [9] Modern yapı yangınlarında hidrojen siyanürün payı da giderek artmaktadır. Poliüretan köpükler, sentetik ürünler ve plastik esaslı yapı malzemeleri yanma sırasında hidrojen siyanür üretmekte; bu bileşik hücresel solunumu durdurarak oksijen bulunsa dahi dokuların oksijeni kullanmasını engellemektedir. Karbon monoksit ile birlikte meydana çıktığında ölümcül etkisi belirgin biçimde artmaktadır. Oksijen konsantrasyonundaki azalma ise çoğu zaman fark edilmeden yaşanabilirliği düşürür. Oksijen seviyesi düştükçe fiziksel performans azalır, karar verme yeteneği bozulur ve tahliye süresi uzar. Yaşlılar, çocuklar ve kronik hastalığı bulunan bireyler bu durumdan çok daha erken etkilenmektedir. Bütün bu değişkenlerin birlikte değerlendirilebilmesi için günümüzde en yaygın kullanılan yöntem, ISO 13571 standardında tanımlanan Fractional Effective Dose (FED) yaklaşımıdır.[11] FED yöntemi;

1. karbon monoksit,
2. hidrojen siyanür,
3. oksijen azalması,
4. karbon dioksit artışı,
5. ısıl maruziyet

gibi parametrelerin birleşik etkisini sayısal olarak ifade etmekte, böylece tek bir ölçüm yerine toplam fizyolojik yük hesaplanabilmektedir. FED değerinin artması, kişinin yaşamını tehdit eden maruziyet düzeyine yaklaştığını gösterir. Bir başka ifadeyle yangın ortamında geçirilen süre uzadıkça yalnızca ısıl yük değil, toksik gazların etkisi de artmaktadır. Bu nedenle yangının erken söndürülmesi kadar mağdurun mümkün olan en kısa sürede yapı dışına çıkarılması da kritik öneme sahiptir. [8, 9]

Illinois Üniversitesi ile UL FSRI tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda tek katlı ve iki katlı konutlarda farklı yangın senaryoları incelenmiş, özellikle kapısı açık ve kapısı kapalı yatak odalarındaki yaşanabilirlik koşulları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kapalı kapının toksik gaz geçişini önemli ölçüde sınırlandırdığını ve mağdurun maruz kaldığı FED değerlerini büyük oranda azalttığını göstermiştir. Bazı deneylerde açık kapılı odalarda yüksek bilinç kaybı olasılıkları hesaplanırken, kapalı kapılı odalarda aynı olasılık çok düşük seviyelerde kalmıştır. [8] Bu bulgunun operasyonel karşılığı açıktır: yangına en yakın oda her zaman en tehlikeli oda değildir. Yangına yakın ancak kapısı kapalı bir odadaki mağdur, yangından daha uzakta fakat kapısı açık odadaki mağdura göre çok daha korunaklı koşullarda olabilmektedir. Bu sonuç, arama ve kurtarma önceliklerinin belirlenmesinde geleneksel kabullerin yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. [9] UL FSRI'nin tam ölçekli yangın deneyleri, yaşanabilirlik kavramını müdahale taktikleri açısından da sınamıştır. İç müdahale ile kademeli (transitional) müdahale karşılaştırıldığında her iki yöntemin de yangın ortamındaki sıcaklıkları hızla düşürdüğü ve FED artış hızını azalttığı belirlenmiştir. Kademeli müdahalenin mahsur kalanların maruz kaldığı toplam tehlikeyi artırdığına ilişkin bir bulgu elde edilmemiştir. [4] Bununla birlikte deneyler, su uygulamasının ortamda hiçbir değişiklik oluşturmadığı anlamına gelmemektedir. Bazı deneylerde su uygulamasının ardından deri nekrozu potansiyelinde artış gözlenmiştir ancak kademeli müdahale ile doğrudan iç müdahale arasında anlamlı bir fark oluşturmamıştır. Kademeli müdahalenin potansiyel yanık yaralanmalarını iç müdahaleye oranla artırmadığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde bazı deneylerde duman tabakası seviyesinde yapılan (yaklaşık 1,5 m) ölçümlerde tutuşma anından itibaren bağıl nemde birkaç puanlık artışlar gözlemlenmiştir. Söz konusu değişimler sınırlı, konuma bağlı ve kısa süreli kalmış; yaşanabilirlik veya yaralanma eşiklerini aşan ilave bir tehlike meydana getirmemiştir. [4] Burada anlaşılması gereken esas sonuç, riskin her koşulda sıfır olduğu değil, kademeli müdahalenin iç müdahaleye göre ek bir risk oluşturmadığıdır. Bu sonuçlar, yıllarca dile getirilen "dışarıdan verilen su mağduru öldürür" veya "yangını yapı içerisine iter" şeklindeki görüşlerin kontrollü deneylerde doğrulanamadığını göstermektedir. Yangının oluşturduğu ısıl yük ne kadar erken azaltılırsa, mağdurun maruz kaldığı toplam fizyolojik yük de o kadar düşük kalmaktadır. Yaşanabilirlik yalnızca söndürme faaliyetlerinden etkilenmez. Havalandırma uygulamaları da bu süreci doğrudan değiştirir. Kontrolsüz biçimde oluşturulan yeni açıklıklar yangına ilave oksijen sağlayarak sıcaklıkların ve toksik gaz üretiminin hızla artmasına neden olabilmektedir. Güncel yaklaşım bu nedenle havalandırmanın mutlaka söndürme ile koordineli yürütülmesini önermektedir. Birbirinden bağımsız, koordinasyon olmaksızın yürütülen söndürme ve havalandırma çalışmaları olumsuz sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Sonuç olarak yaşanabilirlik kavramı, modern yapısal yangınla mücadelede operasyonel kararların bilimsel temelini oluşturmaktadır. Müdahale başarısı yalnızca yangının söndürülme süresiyle değil, ortamdaki toksik yükün ve ısıl maruziyetin ne kadar hızlı azaltıldığıyla ölçülmelidir.

3- YANGIN DİNAMİĞİ VE MODERN YAPI YANGINLARININ DAVRANIŞI

Yangın dinamiği, yangının başlangıcından söndürülmesine kadar geçen süreçte meydana gelen fiziksel ve kimyasal olayların incelenmesini kapsayan bilim dalıdır.

Sıcaklık artışı, gaz hareketleri, duman tabakası oluşumu, havalandırma etkileri ve ısı transfer mekanizmaları bu alanın temel konularını oluşturmaktadır. Günümüzde yangınla mücadelede sadece aleve odaklanmak

değildir. Yangını besleyen gaz hareketlerinin ve yapı içerisindeki enerji transferinin anlaşılması da en az alev davranışı kadar önemlidir. Uzun yıllar boyunca itfaiye eğitimlerinde yangınların büyük ölçüde yakıt kontrollü olduğu düşünülmüş ve müdahale stratejileri buna göre şekillendirilmiştir. Ancak modern araştırmalar, günümüz kapalı alan yangınlarının önemli bir bölümünün kısa süre içerisinde havalandırma kontrollü hâle geldiğini ortaya koymuştur. Yangının büyümesini belirleyen temel faktör artık yakıt miktarı değil, yangına ulaşabilen oksijen miktarıdır. [1] Modern yapılarda sentetik esaslı mobilyalar, plastik malzemeler ve poliüretan köpüklerin yoğun kullanımı nedeniyle yangınlar geçmişe göre çok daha hızlı gelişmektedir. Açık plan mimari uygulamalar, geniş salonlar ve birleşik yaşam alanları ise sıcak gazların yapı içerisinde daha kısa sürede yayılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geçmişte güvenli kabul edilen müdahale süreleri günümüz yapılarında aynı güvenlik düzeyini sağlamamaktadır. [1] Yangının ilk evresinde açığa çıkan sıcak gazlar tavana yükselerek bir sıcak gaz tabakası oluşturur. Bu tabaka başlangıçta incedir, yangın büyüdükçe kalınlaşır ve sıcaklığı artar. Gaz tabakasından çevre yüzeylere aktarılan radyasyon, henüz doğrudan alev almamış yanıcı maddelerin ısınmasına neden olur; böylece yapı içerisindeki çok sayıda eşya aynı anda piroliz gazları üretmeye başlar. Yangının büyümesindeki temel mekanizmalardan biri de budur. Piroliz sırasında ortaya çıkan gazlar yanıcıdır ancak yanabilmeleri için yeterli oksijen gereklidir.

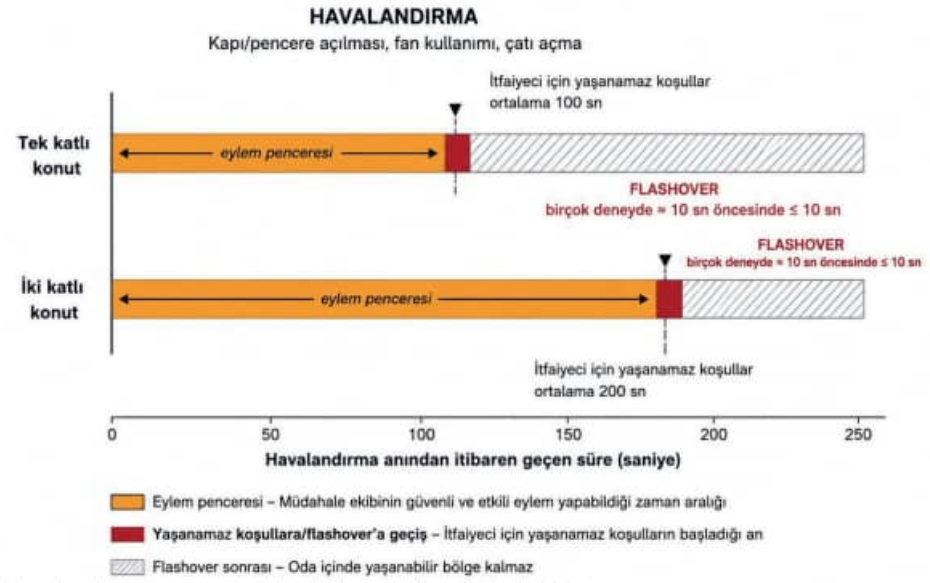
Yapı içerisindeki açıklıklar sınırlıysa ortamdaki oksijen zamanla tüketilir ve yangın havalandırma kontrollü hâle gelir. Bu aşamada görülen alev miktarı azalsa bile yapı içerisinde büyük miktarda yüksek sıcaklıkta yanmamış yanıcı gaz birikmiş olabilir.

Dışarıdan bakıldığında yangının zayıfladığı düşünülür. Aslında yangın uygun oksijen kaynağı sağlandığında çok hızlı şiddetlenebilecek tehlikeli bir aşamadadır. [1] Bu nedenle modern yangınlarda görülen duman yalnızca görüşü azaltan bir unsur değildir. Duman; yanıcı gazlar, toksik bileşikler ve büyük miktarda ısıl enerji taşıyan dinamik bir akışkandır. Birçok ülkede itfaiyeciler bugün alevlerden çok dumanın davranışını okuyarak taktik karar vermektedir. Yangın dinamiğinin en önemli kavramlarından biri akış yolu (flow path) kavramıdır. Akış yolu, yapı içerisindeki yüksek basınçlı sıcak gazların düşük basınçlı bölgelere doğru izlediği güzergâh olarak tanımlanmaktadır. Kapı veya pencere açılmasıyla birlikte bu güzergâh aniden değişebilir. Yeni hava girişi yangına oksijen sağlayarak yanma hızını artırırken, sıcak gazların farklı bölgelere yönelmesine de neden olabilir. Bu durum hem mahsur kalan kişiler hem de müdahale ekipleri açısından ciddi risk oluşturmaktadır. [1] UL FSRI tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli deneylerde giriş kapısının kontrolsüz açılmasının yapı içerisindeki sıcaklıkları kısa sürede artırabildiği gösterilmiştir. Açılan her kapı yalnızca bir geçiş noktası değil, aynı zamanda yangını besleyen yeni bir hava kaynağıdır. Kapı kontrolünün bağımsız bir müdahale taktiği olarak değerlendirilmesinin nedeni de budur. Amaç, yapı içerisine giren oksijen miktarını sınırlayarak yangının büyümesini yavaşlatmaktır. Böylece hem arama ekipleri için daha güvenli çalışma koşulları oluşur hem de mahsur kalanların maruz kaldığı sıcaklık ve toksik gaz artışı zayıflar. [1] Aynı raporda elde edilen ölçümler, koordinasyonun ne kadar dar bir zaman aralığında gerçekleşmesi gerektiğini de somutlaştırmaktadır. Havalandırma anından itfaiyeciler için yaşanamaz koşulların oluşmasına kadar geçen süre tek katlı yapıda ortalama 100 saniye, iki katlı yapıda ise ortalama 200 saniye olarak ölçülmüştür.

Birçok deneyde bu eşikten flashover'a geçiş 10 saniyeden kısa sürmüştür. Araştırmacılar yangın öncesinde açık bırakılmış bir pencere veya kapı bulunması durumunda yapı içi sıcaklıkların zaten daha yüksek olacağını ve yangının ilave havalandırmaya çok daha hızlı tepki vereceğini vurgulamaktadır. [1]

Yangın dinamiğinde en kritik dönüm noktası flashover olayıdır. Flashover, yapı içerisindeki yanıcı yüzeylerin büyük bölümünün kısa süre içerisinde eş zamanlı olarak tutuştuğu geçiş evresidir. Flashover sonrasında oda içerisinde hayatta kalınabilecek güvenli bölge büyük ölçüde ortadan kalkar. Bu geçişte yalnızca sıcaklık değil, radyasyonla ısı transferi de belirleyici rol oynar. Tavanda biriken sıcak gaz tabakası sürekli olarak çevre yüzeyleri ısıtır, tabakanın sıcaklığı arttıkça radyasyon miktarı da artar ve yapı içerisindeki tüm yanıcı yüzeyler aynı anda piroliz gazı üretmeye başlar. Zincirleme süreç birkaç saniye içerisinde tam oda tutuşmasına dönüşebilmektedir. Modern yangın taktiklerinin temel hedeflerinden biri de bu nedenle flashover oluşmadan önce yangının enerjisini azaltmaktır. Su uygulandığında sıcak gaz tabakası hızla soğur, radyasyon azalır ve piroliz hızı düşer. Erken su uygulamasının en önemli faydası, alev boyunu küçültmesi değil enerji zincirini kırmasıdır. Yangın dinamiğinin anlaşılması havalandırma kararlarını da doğrudan etkilemektedir. Kontrolsüz pencere kırılması veya erken çatı havalandırması, söndürme başlamadan gerçekleştirildiğinde

yangına yeni oksijen sağlar. Buna karşılık aynı işlem su uygulamasıyla koordineli yapıldığında sıcak gazların güvenli şekilde tahliyesini kolaylaştırır. "Önce havalandırma" anlayışının yerini koordineli söndürme ve havalandırma yaklaşımına bırakmasının nedeni budur. Modern yangın dinamiği araştırmalarının ortak sonucu, yangın davranışını belirleyen en önemli değişkenlerin enerji, oksijen ve gaz hareketleri olduğudur. İtfaiyecinin amacı yalnızca yangına ulaşmak değil, bu üç değişkeni mümkün olan en kısa sürede kontrol altına almaktır. Başarılı müdahale, yangına en yakın noktadan değil, yangının enerjisini en hızlı azaltacak noktadan gerçekleştirilen müdahaledir.



Havalandırma sonrası odalardaki sıcaklık değişimleri [4]

Not: Değerler deney sonuçlarının ortalamasını temsil etmektedir. Koşullara ve yapıya göre süreler değişiklik gösterebilir [4]

4- İÇ VE DIŞ MÜDAHALE TAKTİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yapı yangınlarına müdahalede uygulanacak taktik, yangının gelişim evresi, yapı tipi, yangının konumu, mahsur kalanların durumu, ekip sayısı ve olay yerindeki risk değerlendirmesi gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Bu nedenle günümüzde tek bir müdahale yönteminin bütün yangınlar için uygun olduğu kabul edilmemektedir. [10] Uzun yıllar boyunca birçok ülkede en etkili yöntem olarak doğrudan iç müdahale benimsenmiştir. Bu yaklaşımda amaç, mümkün olan en kısa sürede yangın bölmesine ulaşmak ve yangını kaynağında söndürmektir. Arama-kurtarma ekipleri de yangınla eş zamanlı olarak yapı içerisine girerek mahsur kalan kişilere ulaşmaya çalışır. İç müdahalenin en önemli avantajı, yangının tamamen söndürülmesine kadar geçen sürenin kısa olmasıdır. Yanan bölgeye ulaşıldığında yalnızca alevler değil, çevrede devam eden gizli yanmalar da kontrol altına alınabilir, yangının yeniden büyüme olasılığı azalır ve ekipler ilerlerken eş zamanlı arama yapabilir. Ancak modern yapı yangınlarında iç müdahalenin uygulanabilmesi her zaman kolay değildir. Havalandırma kontrollü yangınlarda yapı içerisine girildiğinde yüksek sıcaklık, yoğun duman ve sınırlı görüş nedeniyle ilerleme hızı belirgin biçimde düşmektedir. Yangına ulaşıncaya kadar geçen süre içerisinde ise ortamdaki sıcaklık ve toksik gaz üretimi artmaya devam eder. Özellikle uzun koridorlar veya karmaşık plan düzenleri nedeniyle yanan bölgeye ulaşmak geciktiğinde, mağdurların maruz kaldığı fizyolojik yük de büyümektedir. [9] Bu nedenle son yıllarda "yangına mümkün olan en kısa sürede su uygulanması" prensibi ön plana çıkmıştır. Burada belirleyici olan suyun hangi taraftan verildiği değil, yangının enerjisinin ne kadar erken azaltıldığıdır. [4] Söz konusu yaklaşım günümüzde kademeli müdahale (transitional attack) olarak tanımlanmaktadır. Kademeli müdahale, dışarıdan gerçekleştirilen kısa süreli ve hedefe yönelik su uygulamasının ardından ekiplerin yapı içerisine girerek söndürme ve arama faaliyetlerine devam etmesini ifade eder. Temel amaç yangını dışarıdan tamamen söndürmek değil, enerjisini azaltarak iç müdahaleyi daha güvenli hâle getirmektir. [9]

UL FSRI tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli deneylerde bu iki yöntem doğrudan karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, her iki yöntemin de doğru şekilde uygulandığında yapı içerisindeki sıcaklıkları hızla düşürdüğünü göstermiştir. Sıcaklık düşüşü ve yaşanabilirlik üzerindeki etkileri bakımından aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Deneylerde kademeli müdahalenin mahsur kalanların maruz kaldığı tehlikeyi artırdığına ilişkin bulgu da elde edilmemiştir. Su uygulamasının hemen ardından bazı deneylerde görülen deri nekrozu potansiyeli ve duman tabakası seviyesindeki nem artışları, iki yöntem arasında ek bir risk farkı yaratmamış ve tehlike eşiklerini aşmamıştır. [4, 9] Bu bulgu, yıllardır süren "önce mutlaka içeri girilmelidir" tartışmasına bilimsel bir zemin kazandırmıştır. Bununla birlikte sonuçların nozul tipi ve uygulama tekniğinden bağımsız, mutlak bir kural gibi okunmaması gerekir. Tam ölçekli deneylerde sabit düz (straight stream) veya solid akımın (solid stream) yangını ve sıcak gazları sistematik biçimde yapı içerisine ittiğine dair bir bulgu elde edilmemiştir. Buna karşılık dar açılı sis akımı ile hızlı "O" hareketi, pencere veya kapı açıklığının önemli bölümünü su damlacıkları ve sürüklenen hava ile doldurarak akış yolunu etkileyebilmektedir. Açıklıktan içeri taşınan hava, pozitif basınçlı bir vantilatöre benzer biçimde akış yönünü yapı içerisine çevirebilmektedir. Dolayısıyla "dıştan su yangını itmez" sonucu; sabit, hedefe yönelik akım ve uygun uygulama tekniği koşuluyla geçerlidir. [3, 4] Dış müdahalenin rastgele uygulanmaması gerektiği de burada özellikle vurgulanmalıdır. Modern kademeli müdahalede su doğrudan yangın odasına yöneltilir, gereksiz su kullanımı önlenir ve uygulama süresi kısa tutulur. Amaç yangını pencere önünden söndürmek değil, enerjisini azaltarak güvenli iç müdahaleyi kolaylaştırmaktır. Bu nedenle kademeli müdahale, iç müdahalenin yerine geçen bağımsız bir taktik değil, koordineli iç müdahalenin ilk aşaması olarak değerlendirilmelidir. [10] Koordineli müdahale kavramı da bu noktada önem kazanmaktadır.

Söndürme, havalandırma ve arama-kurtarma faaliyetleri birbirinden bağımsız yürütüldüğünde istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. UL FSRI'nin bu amaçla yürüttüğü iki ayrı araştırma, koordinasyonun etkisini farklı yapı tiplerinde ölçmüştür. Çok aileli yapılara ilişkin çalışma, ortak ve kapalı merdiven boşluğuna sahip dört binada gerçekleştirilen 13 tam ölçekli deneyden oluşmaktadır. [5] Tek ailelik konutlara ilişkin çalışmada 8 yapıda 20 deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ön kapının açılmasının başlı başına bir havalandırma hareketi oluşturduğu ve koordineli havalandırmada anlamlı bir sıcaklık artışı görülmediği bildirilmiştir. [6] Operasyonel açıdan bakıldığında, küçük ekiplerle müdahale edilen olaylarda kademeli müdahalenin önemli avantajlar sağlayabileceği görülmektedir. Yangının enerjisinin ilk dakikalarda azaltılması, içeri girecek ekibin daha düşük sıcaklıkta ve daha güvenli koşullarda ilerlemesine olanak tanımaktadır. Bu durum hem arama faaliyetlerini kolaylaştırmakta hem de toplam müdahale süresini kısaltabilmektedir. Yine de hiçbir müdahale yöntemi tek başına bütün senaryolar için ideal değildir. Yangının pencereden görülemediği, bodrum katında bulunduğu veya dışarıdan erişimin mümkün olmadığı olaylarda doğrudan iç müdahale en uygun seçenek olabilir. Gelişmiş yangınlarda yapının stabilitesi, ekip sayısı ve kurtarma öncelikleri de taktik seçimini değiştirir. Sonuç olarak modern literatür, iç müdahale ile kademeli müdahaleyi birbirinin rakibi olarak görmemektedir. Her iki yöntemin ortak amacı yangının enerjisini en kısa sürede azaltmak, mahsur kalanların yaşanabilirlik koşullarını iyileştirmek ve itfaiyecilerin maruziyetini düşürmektir. Taktik tartışmalarının odağı da bu nedenle "hangi yöntem doğrudur?" sorusundan "hangi koşullarda hangi yöntem en fazla yaşam kurtarır?" sorusuna kaymıştır.

Karşılaştırma ölçütü	İç Müdahale	Kademeli (dıştan başlayan) Müdahale
Yangın odasında sıcaklık	Su uygulamasının hemen ardından hızlı ve belirgin düşüş	Aynı yönde hızlı ve belirgin düşüş; iki yöntem arasında anlamlı fark bulunmamıştır
Yangın odası dışındaki odalar ve koridor	Ölçüm noktalarının tamamında sıcaklık düşüşü	Ölçüm noktalarının tamamında sıcaklık düşüşü; sıcaklık veya toksik gaz artışı eğilimi ölçülmemiştir
Mahsur kalanın FED artış hızı	Su uygulamasından sonra belirgin biçimde yavaşlar	Su uygulamasından sonra belirgin biçimde yavaşlar; anlamlı bir üstünlük veya dezavantaj bulunmamıştır
Deri nekrozu potansiyeli	Bazı deneylerde su uygulaması sonrası artış gözlenmiştir	Bazı deneylerde artış gözlenmiştir; iç müdahaleye kıyasla ek bir yanık riski oluşturmamıştır
Duman tabakası seviyesinde (≈1,5 m) bağıl nem	Tutuşmadan itibaren birkaç puanlık artış	Birkaç puanlık artış; sınırlı, konuma bağlı ve kısa süreli, yaşanabilirlik eşiği aşılmamıştır

İlk suyun uygulanma anı	Ekip yangın odasına ulaştığında	Dışarıdan ortalama 12–27 sn süren hedefe yönelik uygulama; ardından derhâl iç müdahale
Su tüketimi (tek odalı yangın, düzeltilmiş karşılaştırma)	Kapıdan ort. 59,6 gal (≈226 L)	Pencereden ort. 51,7 gal (≈196 L); aradaki fark ölçüm belirsizliği içindedir
İtfaiyeci termal maruziyeti	Yangına ulaşana kadar yüksek ısı yükü, yoğun duman ve sınırlı görüş	Enerji önceden azaltıldığı için ilerleme daha düşük gaz sıcaklığı ve radyasyon yükü altında
Akış yolu ve hava sürüklenmesi	Nozul hareketi ve sis akımı hava sürüklenmesini belirgin biçimde artırır	Sabit düz/solid akım en az havayı sürükler; dar açılı sis ile hareketli "O" paterni akış yönünü yapı içine çevirebilir
Sınırlayıcı koşullar	Havalandırma kontrollü yangınlarda ilerleme yavaşlar; uzun koridor ve karmaşık plan düzenlerinde süre uzar	Yangın odasının dıştan görülemediği, bodrum katında bulunduğu veya dıştan erişimin mümkün olmadığı olaylarda uygulanamaz
Genel deneysel sonuç	Sıcaklık düşüşü ve mahsur kalanların yaşanabilirliği bakımından iki yöntem arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Belirleyici olan suyun hangi taraftan uygulandığı değil, ne kadar erken uygulandığıdır.	

Tablo 1. İç müdahale ile kademeli müdahalenin tam ölçekli deneysel bulgular açısından karşılaştırılması.

Not: Karşılaştırılan deneyler sabit üç kişilik ekip, belirli bir hortum yerleşim senaryosu ve ağırlıklı olarak oda içeriği yangınları koşullarında yürütülmüştür. Duvar, tavan arası veya diğer gizli boşluklarda gelişen yapısal yayılım senaryoları incelenmemiştir. Bu nedenle sonuçlar aynı ekip büyüklüğü ve benzer erişim koşulları için güçlü deneysel kanıt sağlamakta, farklı personel düzenleri ve karmaşık yapılar için koşulsuz biçimde genellenmemektedir [4].

5- TAM ÖLÇEKLİ DENEYSEL ÇALIŞMALARIN BULGULARI

Laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen küçük deneyler önemli bilgiler sağlamakla birlikte, gerçek yapı yangınlarının karmaşık davranışını tam olarak yansıtamamaktadır. Bu nedenle son yirmi yıl içerisinde UL FSRI ve Illinois Fire Service Institute tarafından tam ölçekli konut yangını deneyleri gerçekleştirilmiştir. NIST ise rüzgâr etkili yangınlarda akış yolu oluşumunu ve dıştan su uygulamasının etkisini tam ölçekli deneylerle incelemiştir.[13, 14] Bu deneylerde tek katlı ve iki katlı konutlar ile apartman daireleri kontrollü şekilde yakılmış; yüzlerce sıcaklık sensörü, gaz analizörü, basınç sensörü ve ısı akısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Farklı noktalarda insan maruziyetini temsil eden ölçüm istasyonları oluşturulmuş; sıcaklık, karbon monoksit, karbon dioksit, oksijen konsantrasyonu ve diğer çevresel parametreler sürekli olarak kaydedilmiştir. [4] UL FSRI'nin "Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival" araştırma programı üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada suyun kompartıman içerisindeki dağılımı (Water Mapping), ikinci aşamada nozul uygulamasının oluşturduğu hava hareketleri (Air Entrainment), üçüncü aşamada ise ateşin bulunduğu tam ölçekli yangın deneyleri incelenmiştir. Üç çalışma birbirini tamamlayacak biçimde tasarlanmış ve aynı temel soruya cevap aramıştır: yangına uygulanacak ilk suyun yöntemi, yangın ortamını ve mağdurların yaşanabilirliğini nasıl etkilemektedir?

5.1. Suyun Kompartıman İçerisindeki Dağılımı (Water Mapping)

Uzun yıllardır bazı itfaiye teşkilatlarında, pencere, kapı gibi açıklıklardan uygulanan suyun pencere önünde buharlaştığı veya yangın odasına doğru ulaşamadığı yönünde bir kanaat bulunmaktaydı. Water Mapping çalışması bu kanaati ateşin ve mobilyanın bulunmadığı kontrollü bir düzenekte sınamıştır. Deneyler, UL Northbrook laboratuvarında bu amaçla inşa edilen, iç ölçüleri yaklaşık 5,3 m × 3,5 m ve tavan yüksekliği 2,4 m olan tek bir kompartımanda gerçekleştirilmiş; toplam 83 su akış deneyi yapılmıştır. Su, zemine yerleştirilen 48 ayrı toplama kabından oluşan bir ölçüm düzeneğiyle (Actual Delivered Density – ADD) hacimsel ola-

rak ölçülmüştür. [2] Sonuçlar, suyun önemli bölümünün hedeflenen hacme ulaştığını göstermiştir. Hortum akışının yüksek momentumu nedeniyle su, çarptığı yüzeyden geri sekmemiş; tavan boyunca ilerleyerek nozulun karşısındaki duvara yönelmiş ve buradan aşağı doğru dağılmıştır. Kapı ve pencere uygulamaları arasında dağılım açısından belirgin bir fark bulunmamış, her iki durumda da suyun büyük bölümü nozulun karşısındaki duvar boyunca yayılmıştır.[2] Dağılımı belirleyen en önemli değişken uygulama açısı olmuştur. Tavana mümkün olan en dik açıyla yöneltilen su en geniş yüzey kaplamasını sağlamış ve dört duvara birden dağılmış; açı azaldıkça kaplanan yüzey miktarı düşmüştür. Bu ilişki nozul tipinden, uygulama paterninden ve suyun hangi taraftan verildiğinden bağımsız olarak geçerli bulunmuştur. [2] Bulguların değerlendirilmesinde çalışmanın sınırları da göz önünde tutulmalıdır. Deneyler ateşin bulunmadığı koşullarda ve içerisinde mobilya bulunmayan tek bir dikdörtgen kompartımanda yürütülmüştür. Ekipman kısıtlaması nedeniyle su akışının doğrudan zemine yöneltildiği senaryolar ölçülememiştir. Araştırmacılar daha büyük hacimli kompartımanların, uzun giriş koridorlarının ve "L" biçimli karmaşık geometrilerin ilave çalışma gerektirdiğini belirtmiştir. Dolayısıyla bu veriler su dağılımının temel prensiplerini ortaya koymakta olup, yangın ortamındaki ısıl etkilerin doğrudan ölçümü değildir; söz konusu etkiler serinin üçüncü aşamasında ayrıca incelenmiştir. [2, 4]

5.2. Su Akımının Sürüklediği Hava (Air Entrainment)

Serinin ikinci aşamasında, yine ateşin bulunmadığı kontrollü bir düzenekte, nozuldan çıkan suyun çevresindeki havayı ne ölçüde sürüklediği nicel olarak ölçülmüştür. Çalışma "doğru" veya "yanlış" nozul tekniği tanımlamamış; nozul tipi, patern, hareket biçimi, uygulama mesafesi gibi değişkenlerin hava hareketi üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır.[3] Ölçümlerde sabit konumdaki dar açılı sis akımının, düz akım veya solid akımına göre yaklaşık altı kat daha fazla hava sürüklediği belirlenmiştir. Düz nozul veya smooth bore nozulun hareket ettirilmesi, sabit uygulamaya göre hava sürüklenmesini yaklaşık 3,5 kat artırmıştır. "O" paterni uygulanırken nozul dönüş hızının 50 dev/dakikadan 150 dev/dakikaya çıkarılması da taşınan hava miktarını yükseltmiştir. En yüksek değer, yaklaşık 3 metre mesafeden dar açılı sis akımı ve hareketli "O" tekniğinin birlikte kullanıldığı koşullarda 25.000 m^3/sa üzerinde ölçülmüştür. Rapor bu değeri tek katlı bir yapıda pozitif basınçlı havalandırma fanının oluşturabileceği hava akışıyla karşılaştırmıştır. [3] Buna karşılık nozul basıncı, debi ve hortum çapı bakımından anlamlı bir fark belirlenmemiştir. Raporda 1¾ inç ve 2½ inç hortumlar ile farklı debi ve nozul basınçları karşılaştırılmıştır. Bu değişkenlerin akım ve nozul hareketi kadar belirleyici olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Smooth bore nozul ile ayarlanabilir nozuldaki düz akım arasında da hava sürüklenmesi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Solid akımının hava hareketi açısından düz akımdan üstün bir "penetrasyon" etkisi oluşturduğu yönündeki yaygın kabul, bu çalışmanın ölçümleriyle desteklenmemiştir. [3]

Çalışmanın operasyonel karşılığı, hava hareketini yönetmek için önceliğin basınç veya hortum çapından ziyade akım, hareket, mesafe ve uygulama hızına verilmesi gerektiğidir. Dışarıdan su uygulanırken daha az hava sürükleyen bir akımın tercih edilmesinin rapordaki temel gerekçesi ise açıklığın tamamını su ve hava akımıyla tıkamamak, yanma ürünlerinin dışarı tahliyesine alan bırakmaktır. Bu öneri "oksijen taşınmadığı için uygulama bütünüyle güvenlidir" biçiminde yorumlanamaz; amaç, açıklıktaki karşılıklı akışın devamına izin vererek duman ve sıcak gaz tahliyesini kolaylaştırmaktır. [3]

5.3. Tam Ölçekli Yangın Deneyleri

Araştırma programının en kapsamlı bölümünde gerçek konutlarda onlarca farklı yangın senaryosu oluşturulmuştur. Yangın odasının konumu, pencere açıklıkları, kapı durumları ve müdahale yöntemleri değiştirilerek çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir. Her deneyde sıcaklık değişimleri, gaz konsantrasyonları, basınç değişimleri ve yaşanabilirlik kriterleri ayrıntılı olarak kaydedilmiştir. [4] En dikkat çekici bulgu, su uygulamasının başlamasıyla birlikte yapı içerisindeki sıcaklıkların çok kısa süre içerisinde belirgin şekilde düşmesidir. Bu düşüş yalnızca yangın odasında değil, yapı içerisindeki diğer odalarda, koridorlarda ve mağdur konum-

larını temsil eden ölçüm noktalarında da gözlenmiştir. Dışarıdan uygulanan su gerçekten yangını yapı içerisine itmiş olsaydı, bu bölgelerde sıcaklıkların yükselmesi veya toksik gaz maruziyetinin artması beklenirdi fakat deney sonuçları böyle bir eğilim göstermemektedir. [4]

ISO 13571 standardına göre hesaplanan FED eğrileri de aynı yönde bir sonuç ortaya koymaktadır.[11] Su uygulamasından hemen sonra maruziyet artış hızı belirgin şekilde azalmaktadır. Bu durum toksik gaz üretiminin tamamen durduğu anlamına gelmemekle birlikte, mağdurun toplam fizyolojik yükünün daha yavaş artmaya başladığını göstermektedir. Ayrıca iç müdahale ile kademeli müdahale arasında yaşanabilirlik açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. [9] Müdahalenin başarısını belirleyen temel unsurun suyun içeriden ya da dışarıdan uygulandığı değil, ne kadar erken uygulandığı olduğu anlaşılmıştır. Zamanlama tabloları da tartışmaya somut bir ölçek kazandırmaktadır. Dışarıdan ilk su uygulamasının ortalama süresi deney koşullarına göre yaklaşık 12–27 saniye arasında ölçülmüştür. Bu nedenle kademeli müdahalenin "birkaç saniyelik" bir işlem olduğu şeklindeki ifade yerine, yaklaşık 10–30 saniye süren kısa ve hedefe yönelik bir uygulama olarak tanımlanması daha isabetlidir. [4] Su tüketimi verileri erken uygulamanın operasyonel etkisini ayrıca somutlaştırmaktadır. Tek odalı kademeli müdahale deneylerinde ortalama yaklaşık 116 litre su kullanılırken, iki odalı doğrudan iç müdahale deneylerinde ortalama yaklaşık 974 litre su kullanılmıştır. Bu karşılaştırma farklı deney düzenekleri ve yangın büyüklükleri göz önünde bulundurularak yorumlanmalıdır. Yine de yangının enerjisinin erken azaltılmasının toplam su ihtiyacını belirgin biçimde düşürebileceğini göstermektedir. [4] Illinois Üniversitesi ve UL FSRI tarafından yürütülen yaşanabilirlik araştırmaları bu sonuçları desteklemektedir.

Farklı yangın konumları ve kapı senaryolarının değerlendirildiği deneylerde, kapısı kapalı odalarda bulunan varsayımsal mağdurların açık kapılı odalara göre çok daha düşük FED değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Yapı içerisindeki kapılar, yangın sırasında pasif bir koruyucu bariyer görevi görmektedir. [8]

UL FSRI tarafından daha sonra gerçekleştirilen Coordinated Fire Attack araştırmaları ise bulguları farklı konut tiplerinde doğrulamıştır. Tek ailelik konutlar ve çok aileli apartmanlarda su uygulaması ile havalandırmanın koordineli yürütülmesinin hem sıcaklık kontrolü hem de toksik gazların sınırlandırılması açısından önemli avantajlar sağladığı görülmüştür. Kontrolsüz havalandırma yangının gelişimini hızlandırırken, koordineli havalandırma söndürme etkinliğini artırmıştır. [5, 6] Çok aileli yapı çalışmasının özgün katkısı, tehlikenin yalnızca yangın dairesiyle sınırlı kalmayabileceğini göstermesidir. Ortak ve kapalı merdiven boşluğu, sıcak gazlar ile yangın ürünlerinin yangın katı dışındaki dairelere ve üst katlara taşınabileceği ek bir akış yolu oluşturmaktadır. Deney 5'te bir kapının erken ve koordinasyonsuz açılmasından sonra yaklaşık 30 saniye içinde komşu dairede zemin sıcaklığı 46 °C'den 79 °C'ye yükselmiş; merdiven boşluğundaki bazı ölçüm noktalarında ise sıcaklık 154 °C'den 482 °C'ye çıkmıştır. Koordinasyonsuz havalandırma, ortak dolaşım alanlarına sahip çok aileli yapılarda yalnızca yangın dairesini değil, diğer daireleri ve katları da etkileyebilen bir maruziyet riski taşımaktadır. [5] Aynı çalışmada yaklaşık 74 m² büyüklüğündeki tek yatak odalı dairelerde yapılan deneylerde, tek odalı yangınlarda ortalama 526 (± 204) litre, çok odalı yangınlarda ise ortalama 651 (± 72) litre su kullanılmıştır. Bu değerler, etkin ve erken su uygulamasının her durumda aşırı su tüketimi anlamına gelmediğini; yangının yayılımı ve yanan oda sayısının ihtiyaç duyulan su miktarını belirlediğini göstermektedir.

Söndürme sonrasında uygulanan pozitif basınçlı havalandırma ve hidrolik havalandırma ise yapı içi sıcaklıkların düşüşünü ve gaz konsantrasyonlarının iyileşme hızını artırmıştır. [5] Tam ölçekli deneyler kapı kontrolünün ve termal görüntüleme kameralarının sınırlılıklarının da taktik değerlendirmeye dâhil edilmesi gerektiğini göstermiştir. Kapının kontrolsüz açılması yangına ilave hava sağlayarak koşulları hızla değiştirebilir. Termal kamera ise yüzey sıcaklıklarını ve görüş alanındaki ısıl farklılıkları gösterir; duvar veya tavan boşluklarındaki gizli yayılımı, sıcak gazların tüm hacimsel hareketini ya da bir bölmenin yaşanabilirliğini tek başına güvenilir biçimde belirleyemez. Kamera görüntüsü, kapı kontrolü, duman okuma, yapı bilgisi ve fiziksel doğrulamayla birlikte kullanılmalıdır. [4]

Deneylerin genellenebilirliği de araştırma tasarımının sınırları içinde değerlendirilmelidir. Deneylerde sabit üç kişilik ekip kullanılmış, hortum hattı belirli bir yerleşim senaryosuna göre konuşlandırılmış ve yangınlar ağırlıklı olarak oda içeriği ile sınırlandırılmıştır. Duvar, tavan arası veya diğer gizli boşluklarda gelişen yapısal yayılım senaryoları incelenmemiştir. Bu nedenle sonuçlar aynı ekip büyüklüğü, benzer erişim ve hortum

yerleşimi ile içerik yangınları için güçlü deneysel kanıt sağlamakta, farklı personel düzenleri ve karmaşık yapılar için koşulsuz biçimde genellenmemektedir. [4] Yapı tipine bağlı genellenebilirlik açısından, yıkılmaya ayrılmış 12 üniteli tek katlı bir alışveriş merkezinin dört ünitesinde yürütülen yedi tam ölçekli keşifsel deney tamamlayıcı bir örnek sunmaktadır. Konut deneylerindekinden yaklaşık üç kata kadar daha büyük hacimlerde dahi yangınların havalandırma kontrollü rejime geçtiği ve söndürme olmaksızın yapılan yatay veya dikey havalandırmanın flashover'a yol açabildiği, dikey havalandırmayla eş zamanlı söndürmenin ise sıcaklıkları hızla düşürdüğü görülmüştür. Bununla birlikte çalışma sınırlı deney sayısı, yakıt paketi ve ünite geometrisi nedeniyle kesin ticari yapı taktikleri üretmeye yeterli değildir. Eşyaların su akımıyla yer değiştirmesi de söndürmeye özgü kesin sonuç çıkarılmasını sınırlandırmıştır. Bulgular, koordinasyon ilkesinin daha büyük ticari hacimlerde de geçerli olabileceğini destekleyen keşifsel kanıt olarak değerlendirilmelidir. [7] Bütün bu deneylerin ortak sonucu, modern yapı yangınlarında erken su uygulamasının müdahalenin en kritik aşamalarından biri olduğudur. Yangının enerjisinin erken azaltılması yalnızca alev yüksekliğini düşürmemekte; radyasyonu, toksik gaz üretimini ve sıcak gaz tabakasının enerjisini de azaltmaktadır. Bunun sonucunda hem mağdurların yaşanabilirlik süresi uzamakta hem de müdahale ekipleri daha güvenli koşullarda çalışabilmektedir. [4]

6- YAYGIN OPERASYONEL KABULLERİN DENEYSEL VERİLERLE SINANMASI

Yangınla mücadelede uzun yıllardır aktarılan bazı kabuller, tam ölçekli deneylerin yaygınlaşmasıyla birlikte ilk kez ölçülebilir verilerle karşılaştırılabilmiştir. Bu bölümde, sahada en sık dile getirilen yedi konu ayrı başlıklar altında ele alınmıştır.

6.1. "Dıştan Verilen Su Yangını İçeri İter" Kabulü

Dıştan su uygulamasının yangını yapı içerisine ittiği düşüncesi, uzun yıllar boyunca birçok itfaiye teşkilatında kabul gören yaklaşımlardan biri olmuştur. Bu görüşe göre pencere açıklığından uygulanan su, sıcak gazları ve alevleri diğer odalara doğru hareket ettirmekte; bunun sonucunda hem mahsur kalan kişiler hem de içeride çalışan ekipler daha büyük risk altına girmektedir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde 1980'li ve 1990'lı yıllarda birçok eğitim materyalinde doğrudan iç müdahalenin tercih edilmesi gerektiği, dışarıdan su uygulanmasının ise ancak istisnai durumlarda kullanılabileceği ifade edilmiştir. Ancak bu yaklaşım büyük ölçüde saha gözlemlerine dayanmakta olup, kontrollü deneylerle doğrulanmış verilere dayanmamaktaydı. Water Mapping, Air Entrainment ve Full Scale Experiments çalışmaları aynı soruya farklı yönlerden cevap aramıştır: dışarıdan uygulanan su gerçekten yangının davranışını olumsuz yönde değiştirmekte midir? Ateşin bulunduğu tam ölçekli deneylerde, su uygulamasının başlamasından hemen sonra yangın odasında ve komşu bölmelerde sıcaklıkların belirgin biçimde düştüğü, sıcak gaz tabakasının enerjisinde de hızlı bir azalma meydana geldiği ölçülmüştür. Yangının diğer bölmelerde daha şiddetli biçimde yayılması yerine mevcut enerjisi azalmıştır. Yangına komşu odalarda, koridorlarda ve mağdur konumlarını temsil eden ölçüm noktalarında da aynı eğilim görülmüştür. [4] Bununla birlikte bu bulgular, su uygulamasının yapı içerisinde hiçbir etki oluşturmadığı anlamına gelmemektedir. Kerber'in havalandırma deneylerinde, sis (fog) akımı kullanılan iki senaryoda oda sıcaklıkları etkilenmemiş olmakla birlikte, oluşan buharın mevcut akış yolu boyunca hareket ederek görüşü belirgin biçimde azalttığı ve komşu bir yatak odasına yöneldiği gözlenmiştir. Aynı etki düz akım uygulamasında görülmemiştir. Araştırmacılar bu durumu "alevin itilmediği ancak buharın akış yolu boyunca taşındığı" biçiminde tanımlamaktadır. Söz konusu ayrım, dış müdahalede nozul tipi seçiminin ve mevcut açıklıkların dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. [1] Aynı deneylerde hesaplanan FED değerleri, dışarıdan uygulanan ilk su sonrasında mağdurların maruz kaldığı fizyolojik yük artış hızının azaldığını ortaya koymuştur. Kısa süreli dış su uygulaması mağdurların yaşama şansını azaltmamış; birçok senaryoda yaşanabilirlik koşullarını iyileştirmiştir. [9] "Yangını itme" kavramı kontrollü deneylerde doğrulanamamıştır. Buna karşılık elde edilen bulgular, dışarıdan gerçekleştirilen kısa süreli su uygulamasının bağımsız bir müdahale yöntemi olarak değil; yangının enerjisini azaltarak iç müdahaleyi kolaylaştıran

bir aşama olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sonuç, dışarıdan su uygulamasının her durumda tercih edilmesi gerektiği anlamına gelmez. Yangının konumu, yapı geometrisi, açıklık durumu, ekip sayısı ve kurtarma öncelikleri taktik seçiminde belirleyicidir. Ancak mevcut bilimsel veriler ışığında yalnızca "yangını iter" gerekçesiyle dıştan su uygulamasının reddedilmesi için deneysel bir dayanak bulunmamaktadır.

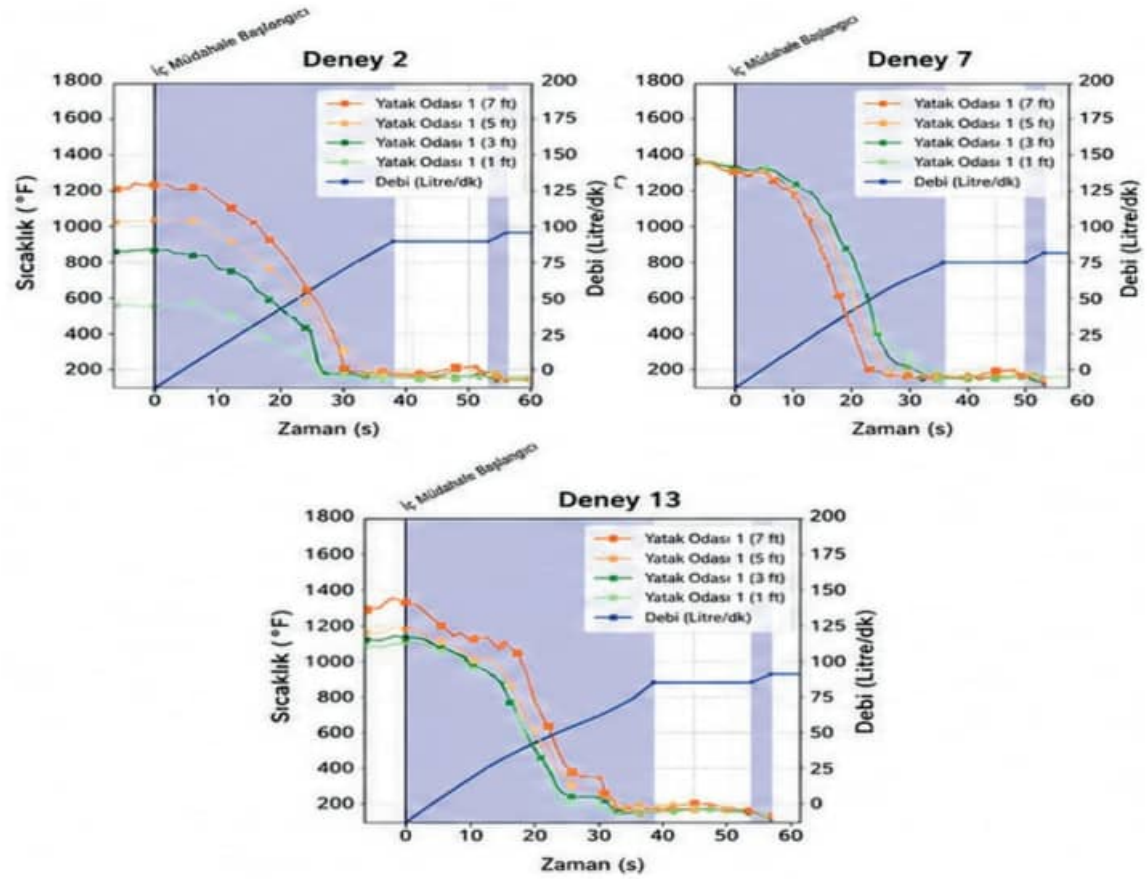
6.2. Dıştan Su Uygulamasının Mahsur Kalanlar Üzerindeki Etkisi

Tartışılan konulardan bir diğeri, dışarıdan gerçekleştirilen ilk su uygulamasının yapı içerisindeki mahsur kalan kişiler açısından olumsuz sonuçlar doğurabileceği yönündeki görüştür. Bu yaklaşımın temelinde, pencere açıklığından uygulanan suyun sıcak gazları ve buharı mağdurların bulunduğu alanlara yönlendirdiği, bunun da toksik maruziyeti ve termal yükü artırdığı düşüncesi yer almaktadır. UL FSRI tarafından gerçekleştirilen "Effect of Firefighting Intervention on Occupant Tenability during a Residential Fire" çalışması bu tartışmayı doğrudan incelemiştir. Araştırmada tam ölçekli konut yangınları oluşturulmuş, mağdur konumlarını temsil eden çok sayıda ölçüm noktasında sıcaklık, gaz konsantrasyonları ve FED değerleri sürekli olarak kaydedilmiştir. Su uygulanmaya başladıktan hemen sonra yapı genelinde sıcaklıkların hızla düştüğü; buna paralel olarak FED eğrilerinin eğiminin, yani mağdurun maruz kaldığı fizyolojik yükün artış hızının azaldığı görülmüştür. İç müdahale ile kademeli müdahale arasında FED açısından anlamlı bir üstünlük ise bulunmamıştır. [9] Bu bulgunun taktik açıdan karşılığı önemlidir. Yangın her saniye büyümeye devam ettiğine göre, enerjisini ilk dakikalarda azaltmak mağdurun toplam maruziyetini de azaltmaktadır. Karbon monoksit ve diğer toksik gazlara bağlı FED artışı zamanla biriken değer olduğundan, maruziyet süresinin uzaması tek başına önemli bir risk oluşturur. Yangının birkaç dakika daha yüksek enerjiyle devam etmesi, ilk suyun nereden uygulandığından çok daha büyük bir etkiye sahiptir. Çalışmada mağdurun yangına olan uzaklığının tek başına belirleyici olmadığı da gösterilmiştir. Bazı deneylerde yangına yakın ancak kapısı kapalı odalarda bulunan varsayımsal mağdurlar, daha uzakta fakat kapısı açık alanlarda bulunanlardan daha düşük FED değerlerine ulaşmıştır. Yaşanabilirlik yalnızca mesafeye değil, yapı içerisindeki gaz hareketlerine ve bölmelerin bütünlüğüne bağlıdır. [8]
Mağdur açısından kritik değişkenlerden biri de müdahale süresidir. UL FSRI araştırmaları, yangın kontrol altına alındıktan sonra bile mağdur yapı içerisinde kalmaya devam ettiğinde toplam FED değerinin artmayı sürdürdüğünü göstermektedir. Bunun nedeni, söndürme sonrasında toksik gazların tamamen ortadan kalkmaması ve maruziyetin belirli bir süre daha devam etmesidir. [9] Yangının söndürülmesi kadar mağdurun hızla tahliye edilmesi de yaşanabilirliğin korunması açısından belirleyicidir. Burada önemli bir ayrım yapılmalıdır. Bilimsel çalışmalar dışarıdan yapılan kısa süreli ve hedefe yönelik su uygulamasını değerlendirmiştir. Kontrolsüz, uzun süreli veya yangın odasını hedef almayan uygulamalar bu çalışmaların kapsamı dışındadır. Dıştan yapılan ilk su uygulamasının amacı, mağdurun bulunduğu ortamı buharla doldurmak değil, yangının ürettiği enerjiyi azaltmaktır. Enerji düştüğünde radyasyon azalır, sıcak gaz tabakasının sıcaklığı iner ve toksik gaz üretim hızı yavaşlar. [9] Mevcut deneysel veriler, uygun şekilde uygulanan kısa süreli dış su uygulamasının mahsur kalanların yaşanabilirliğini azalttığını gösteren güçlü bir kanıt ortaya koymamaktadır. Aksine, yangının enerjisinin erken azaltılması sayesinde sıcaklıkların ve FED artış hızının düşmesi birçok senaryoda yaşanabilirlik koşullarını iyileştirmektedir. [9]

6.3. Kademeli Müdahalenin İç Müdahale ile Karşılaştırılması

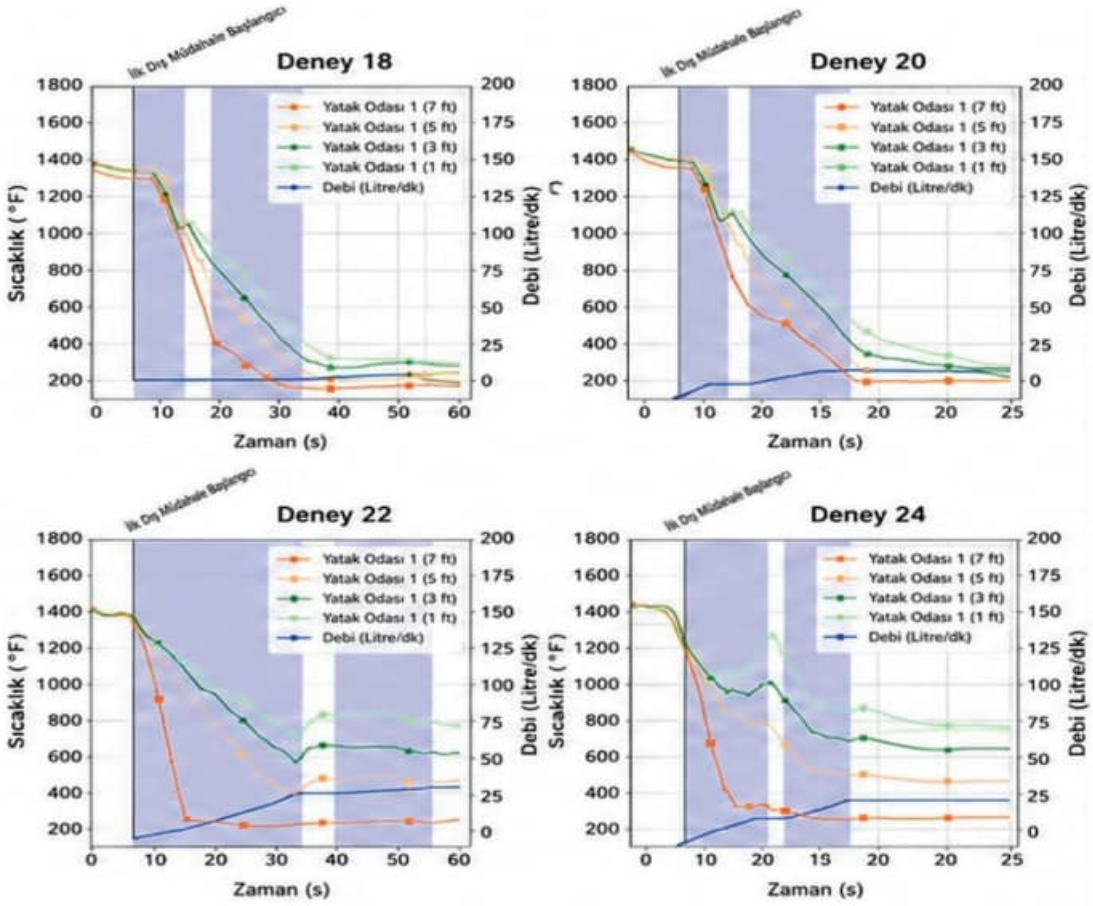
Kademeli müdahale ilk ortaya çıktığında birçok ülkede tartışmalara neden olmuştur. Bazı uygulayıcılar tarafından iç müdahaleyi geciktirdiği ve mahsur kalanların kurtarılmasını olumsuz etkileyebileceği ileri sürülmüştür. Bu tartışma uzun süre saha deneyimleri üzerinden yürütülmüş, kontrollü deneysel veriler ise sınırlı kalmıştır. UL FSRI'nin karşılaştırmalı deneylerinde iki temel senaryo kurgulanmıştır. Birinci senaryoda ekipler doğrudan yapı içerisine girerek iç müdahale gerçekleştirmiş, ikinci senaryoda yangın odasına dışarıdan kısa süreli su uygulanmış ve ardından ekipler yapı içerisine girerek söndürme ve arama faaliyetlerini yürütmüştür. Her iki yöntemde de su uygulamasının başlamasıyla birlikte, özellikle tavan seviyesinde ve

yaşam alanlarını temsil eden ölçüm noktalarında belirgin sıcaklık azalmaları kaydedilmiştir. Sıcaklık düşüşünün büyüklüğü ve FED analizleri bakımından iki yöntem arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. [9]



**Deneylerde iç müdahale sonrası odalardaki sıcaklık değişimleri [4]*

Kademeli müdahaleye yöneltilen temel eleştiri, dışarıdan gerçekleştirilen ilk su uygulamasının arama ekiplerinin yapı içerisine girişini geciktireceği yönündedir. İlk bakışta bu görüş mantıklı görünmektedir. Ancak tam ölçekli deneylerde dıştan yapılan hedefe yönelik uygulamanın yaklaşık 10–30 saniye sürdüğü ve ardından ekiplerin derhâl iç müdahaleye geçtiği görülmüştür. Bu kısa gecikmenin karşılığında yapı içerisindeki sıcaklıkların önemli ölçüde düşmesi, arama ekiplerinin daha güvenli ve daha hızlı ilerleyebilmesini sağlamaktadır. [4] Kademeli müdahalenin bir diğer katkısı, itfaiyecilerin termal maruziyetini azaltmasıdır. Yangının enerjisi düşürüldüğünde gaz tabakasının sıcaklığı azalmakta, radyasyon yükü düşmekte ve içeri giren ekiplerin maruz kaldığı ısı stresi hafiflemektedir. Bu avantaj özellikle uzun koridorlara sahip yapılarda veya yangın odasına ulaşmanın zaman aldığı senaryolarda belirginleşmektedir. Kademeli müdahalede dışarıdan su uygulamasının ardından bir kaç dakika içerisinde içeriden müdahalenin başlaması gerekmektedir. İçeriden müdahalenin gecikmesi durumunda kademeli müdahale başlangıcında dışarıdan su uygulanması sonrasında kapalı alanda oluşan olumlu durum kaybolmakta, yangın olağan rejimine dönmektedir. [20]



**Deneylerde dış müdahale sonrası odalardaki sıcaklık değişimleri [4]*

UL FSRI'nin daha sonra yürüttüğü Coordinated Fire Attack araştırmaları ise müdahalenin başarısında taktiğin adından çok koordinasyonun belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Su uygulaması ile havalandırmanın uyum içinde yürütüldüğü senaryolarda sıcaklıklar daha hızlı kontrol altına alınmış, toksik gaz maruziyeti daha etkin biçimde sınırlandırılmıştır. [5, 6] UL FSRI çalışmalarında incelenen senaryoların tamamında dış su uygulamasını iç müdahale izlemiştir. [4] Mevcut deneysel veriler, kademeli müdahalenin uygun şekilde uygulandığında iç müdahaleye göre sistematik bir dezavantaj oluşturduğunu göstermemektedir. Tartışmanın odağı da bu nedenle "hangi taktik doğrudur?" sorusundan, "hangi koşullarda hangi taktik yangının enerjisini en hızlı ve en güvenli şekilde azaltır?" sorusuna kaymıştır.

6.4. Kapalı Kapıların Koruyucu Etkisi

Yangın güvenliği eğitimlerinde son yıllarda en sık vurgulanan önerilerden biri, yangın sırasında oda kapılarının kapalı tutulmasının yaşam şansını önemli ölçüde artırabileceğidir. İlk bakışta oldukça basit görünen bu öneri, aslında modern yangın dinamiği araştırmalarının ortaya koyduğu en güçlü bulgulardan birine dayanmaktadır. Uzun yıllar boyunca kapalı kapının yalnızca duman geçişini geciktirdiği düşünülmüştür. Tam ölçekli deneyler ise çok daha kapsamlı bir koruma sağladığını göstermiştir. Kapalı kapının koruyucu etkisi, yangının ihtiyaç duyduğu oksijenin hareketini sınırlaması ve sıcak gaz tabakasının diğer odalara yayılmasını geciktirmesi ile açıklanmaktadır. Yangın odasında oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar, açıklık buldukları anda düşük basınçlı alanlara doğru hareket etmektedir. Kapının kapalı olması bu hareketi tamamen durdurmasa da önemli ölçüde sınırlar.

Konu ilk kez kapsamlı olarak Illinois Üniversitesi, UL FSRI ve Gavin Horn'un araştırma grubu tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar tek katlı ve iki katlı konutlarda toplam on yedi tam ölçekli yangın deneyi gerçekleştirmiştir. Yangının farklı odalarda başlatıldığı senaryolar oluşturarak bazı yatak odalarının kapılarını açık bırakmış, bazılarını kapalı tutmuştur. Ölçümler mağdurun yaklaşık baş ve göğüs seviyesini temsil eden

yüksekliklerde yapılmış, sıcaklık ile gaz konsantrasyonları sürekli kaydedilmiştir. [8, 12] En dikkat çekici sonuç, kapalı kapının yalnızca sıcaklığı değil toksik gaz maruziyetini de önemli ölçüde azaltmasıdır. Karbon monoksit ve karbon dioksit konsantrasyonları açık kapılı odalara göre belirgin biçimde daha düşük kalmış, buna bağlı olarak ISO 13571 standardına göre hesaplanan FED değerleri de azalmıştır. En olumsuz senaryolardan birinde açık kapılı odada bilinç kaybı, ne yapacağını bilememe olasılığı çok yüksek çıkarken, kapalı kapılı odada aynı olasılık büyük oranda düşmüştür. [8] Kapının etkisi yalnızca gaz geçişini sınırlandırmakla açıklanamaz. Kapı aynı zamanda radyasyon yoluyla gerçekleşen ısı transferini de azaltmaktadır. Böylece komşu odalarda yüzeyler daha geç ısınır ve piroliz süreci gecikir. Oksijen tüketimi açısından da benzer bir durum söz konusudur. Açık kapılı odalarda oksijen seviyesi hızla düşerken, kapalı kapılı odalarda konsantrasyon daha uzun süre yaşanabilir düzeylerde kalabilmektedir. Bu durum özellikle yaşlılar, çocuklar ve hareket kabiliyeti sınırlı bireyler açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bulgular arama ve kurtarma taktiklerini de etkilemiştir. Geçmişte arama ekipleri yangına en yakın odaları tamamen kaybedilmiş alanlar olarak değerlendirebiliyordu, günümüzde ise kapısı kapalı odaların önemli ölçüde korunmuş olabileceği bilinmektedir. Arama sırasında kapalı kapıların sistematik olarak kontrol edilmesi ve içeride mahsur kalan kişilerin bulunabileceğinin dikkate alınması önerilmektedir. [8] Çalışmaların toplum düzeyinde de karşılığı olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen "Close Before You Doze" kampanyası doğrudan bu deneysel bulgular üzerine geliştirilmiştir. Kampanya kapsamında gece uyurken yatak odası kapısının kapalı tutulmasının yangın sırasında yaşanabilirliği artırabileceği kamuoyuna anlatılmıştır. Kapalı kapı yine de mutlak bir koruma sağlamaz. Kapının malzemesi, sızdırmazlık özellikleri, yangının süresi, yapının açıklıkları ve havalandırma koşulları koruyucu etkinin derecesini değiştirir. Uzun süre kontrol altına alınamayan yangınlarda kapalı hacimlerde de sıcaklık ve toksik gaz seviyeleri yükselebilir. Kapalı kapı, profesyonel bir müdahalenin alternatifi değil yangın sırasında ek zaman kazandıran pasif bir güvenlik önlemi olarak düşünülmelidir.

6.5. Kapı Kontrolünün Müdahaleye Etkisi

Geçmişte kapılar çoğunlukla yalnızca giriş ve çıkış noktaları olarak değerlendirilirken, modern yangın dinamiği araştırmaları kapının yangınındavranışını doğrudan etkileyen aktif bir kontrol elemanı olduğunu ortaya koymuştur. Kapının açılması veya kapalı tutulması bugün yalnızca erişim kararı değil, aynı zamanda taktik bir karardır. Kapı kontrolünün temel amacı, yangının ihtiyaç duyduğu oksijen miktarını sınırlamak ve yapı içerisindeki akış yollarını kontrol altında tutmaktır. Yangın havalandırma kontrollü hâle geldikten sonra ortama sağlanan her yeni hava girişi yanma hızını artırma potansiyeline sahiptir. Giriş kapısının veya yangın odası kapısının kontrolsüz açılması, sıcak gaz hareketlerini değiştirerek yangının kısa sürede daha şiddetli hale gelmesine neden olabilir. [1] Kapı kontrolünün yalnızca yangın davranışı üzerinde değil, mağdur konumlarındaki yaşanabilirlik üzerinde de ölçülebilir bir etkisi bulunmaktadır. Tek ailelik konutlarda yürütülen tam ölçekli deneylerde kapı kontrolü uygulanan senaryolarda mağdur konumlarında hesaplanan FED değerleri daha düşük kalmıştır.[12] Bu durumun temel nedeni akış yolu oluşumudur. Yangın odasındaki sıcak gazlar yüksek basınç nedeniyle yapı içerisindeki açıklıklara yönelirken, yeni açılan kapılar dış ortamdan taze hava girişine izin verir. Böylece bir taraftan oksijen yangına ulaşırken, diğer taraftan yüksek sıcaklıktaki gazlar yapı içerisinde farklı yönlere hareket eder. Bu süreç hem yangın gelişimini hızlandırır hem de ekiplerin ilerlediği güzergâhlarda termal koşulları kötüleştirir. Uygulamada amaç hava girişini tamamen engellemek değil, kontrollü hâle getirmektir. İçeri giren ilk ekip giriş kapısını gereğinden uzun süre açık bırakmamakta, mümkün olduğunca açıklık alanını sınırlandırmaktadır. Yangın odasına ulaşıldığında da kapı gelişigüzel açılmamakta, su uygulamasıyla koordineli hareket edilmektedir. Coordinated Fire Attack deneyleri bu yaklaşımı desteklemektedir. Kapı kontrolünün uygulandığı senaryolarda sıcak gaz tabakasının daha yavaş yayıldığı ve havalandırma ile söndürmenin koordineli yürütülmesi sayesinde yangın koşullarının daha kontrollü biçimde yönetilebildiği görülmüştür. [5][6] Kapı kontrolü prensibi arama teknikleri açısından da önem taşımaktadır. Kerber'in araştırması, pencereden giriş yaparak arama yapılan (VentEnter Search, VES) uygulamalarda en öncelikli işlemin odanın kapısını kapatmak olması gerektiğini ortaya koymuştur. Kapının kapatılması, yeni oluşturulan havalandırma açıklığının yangın üzerindeki etkisini ortadan kaldırmakta; oda yangından yalıtıldığı için hem içeride bulunabilecek mağdurlar hem de arama yapan itfaiyeci için koşullar

iyileşmektedir. Aynı araştırma, hortum hattının önünde arama yapan veya ekibinden ayrı düşen bir itfaiyecinin koşullar kötüleştiğinde kapısı kapalı bir odaya sığınmasının kazandıracağı ek sürenin de altını çizmektedir. [1] Uygulamanın eğitim boyutu da önemlidir. Birçok ülkede ilk giriş yapan ekip üyelerinden biri "door control firefighter" olarak görevlendirilmekte ve kapının yönetiminden sorumlu olmaktadır. Bu görev yalnızca kapıyı açıp kapatmaktan ibaret değildir; içeride çalışan ekibin ilerleme durumuna göre açıklığın kontrol edilmesini, hortum geçişlerinin düzenlenmesini ve gerektiğinde açıklığın daraltılmasını kapsamaktadır. Kapı kontrolü her olayda aynı sonucu vermeyebilir. Yapının planı, yangının gelişim evresi, açıklık sayısı ve yapısal hasar uygulamanın etkinliğini değiştirir. Kapıyı kapalı tutarken yangına uzun süre müdahale edilmemesi de doğru bir yaklaşım değildir. Bu nedenle kapı kontrolü mutlak bir kural olarak değil, koordineli yangın müdahalesinin bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

6.6. Havalandırma Kararlarının Yangın Dinamiğine Etkisi

Havalandırma uzun yıllar boyunca dumanın tahliyesini sağlayan ve müdahaleyi kolaylaştıran rutin bir uygulama olarak değerlendirilmiştir. Yoğun duman bulunan yapılarda pencere kırılması veya çatı açılması görüşü artırmak ve ekiplerin ilerlemesini kolaylaştırmak amacıyla neredeyse otomatik bir refleks hâline gelmiştir. Ancak modern araştırmalar havalandırmanın yalnızca dumanı uzaklaştıran pasif bir işlem olmadığını, yangının gelişimini doğrudan etkileyen aktif bir müdahale olduğunu ortaya koymuştur. [1]
Havalandırma kontrollü yangınlarda yapı içerisindeki oksijen seviyesi yanmayı sınırlandırmaktadır. Yangın yüksek sıcaklık üretmeye devam etse de yeterli oksijen bulunmadığı için yanma hızı belirli bir seviyede kalır. Bu aşamada yapılacak her havalandırma hamlesi yangına ilave oksijen sağlayarak yanma hızını artırır. Sonuç olarak duman miktarı azalırken yangının toplam enerjisi kısa süre içerisinde önemli ölçüde yükselebilir. [1]

Steve Kerber ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen "Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction" araştırması bu değişimin bilimsel temelini oluşturmuştur. Çalışmada hem eski yapı tipleri hem de modern açık plan konutlar tam ölçekli deneylerle incelenmiş, farklı havalandırma senaryolarının yangın davranışı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Özellikle modern yapılarda havalandırma amaçlı yeni açıklıkların oluşturulması, yangın gelişimini geçmiş yapı tiplerine göre çok daha belirgin biçimde etkilemiştir. [1]
Havalandırmanın etkisi yalnızca sıcaklıkla sınırlı değildir. Yeni açıklık oluşturulduğunda yapı içerisindeki gaz hareketleri de değişmektedir. Daha önce durağan durumda bulunan sıcak gazlar yeni oluşan basınç farkları nedeniyle farklı yönlere yönelir. Bu durum hem itfaiyecilerin ilerlediği güzergâhı hem de mağdurların bulunduğu alanları etkiler. Bu bulguların ardından koordineli havalandırma (coordinated ventilation) kavramı ön plana çıkmıştır. Temel prensip, yeni açıklıkların ancak söndürme ekipleri yangına su uygulamaya hazır olduğunda oluşturulmasıdır. Böylece havalandırma ile birlikte artabilecek yangın enerjisi, eş zamanlı su uygulaması sayesinde kontrol altına alınabilmektedir. Coordinated Fire Attack araştırmalarında söndürme ile eş zamanlı yapılan havalandırmanın sıcaklıkların daha hızlı düşmesine katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca söndürme başlamadan gerçekleştirilen kontrolsüz havalandırmanın bazı senaryolarda yangın gelişimini hızlandırdığı belirlenmiştir. [5][6] Yıllarca kullanılan "önce dumanı tahliye et" yaklaşımı, bu nedenle her olay için doğru değildir. Havalandırma kararları mağdurların yaşanabilirliğini de doğrudan etkilemektedir. Söndürme başlamadan yapılan havalandırma, yangının büyümesine bağlı olarak toksik gaz üretimini artırabilir ve yaşanabilir koşulların daha hızlı bozulmasına neden olabilir. Buna karşılık yangının enerjisi azaltıldıktan sonra yapılan kontrollü havalandırma, toksik gazların uzaklaştırılmasına yardımcı olarak kurtarma çalışmalarını destekler. Operasyonel açıdan havalandırma artık bağımsız bir görev değil, olay yeri sorumlusu tarafından yönetilen koordineli bir operasyon bileşenidir. Havalandırma ekibi, söndürme ekibi ve arama-kurtarma ekipleri aynı plan doğrultusunda hareket etmelidir. Bir ekibin yaptığı işlem diğer ekibin çalışma koşullarını doğrudan etkilediğinden, iletişim ve zamanlama modern müdahalenin temel unsurları hâline gelmiştir. Bu yaklaşım eğitim anlayışını da değiştirmiştir. Havalandırma eğitimleri pencere kırma veya çatı açma tekniklerinden ibaret olmaktan çıkarak yangının gelişim evresi, akış yolu oluşumu, basınç değişimleri

ve söndürme ile koordinasyonu birlikte ele alan bütüncül bir içeriğe dönüşmüştür. Bilimsel çalışmalar havalandırmanın her durumda geciktirilmesi gerektiğini söylememektedir. Amaç havalandırmayı reddetmek değil, yangının dinamiğini dikkate alarak doğru zamanda havalandırmaya başlamaktır.

6.7. Erken Su Uygulamasının Operasyonel Önemi

Modern yapısal yangın müdahalesinde son yıllarda öne çıkan en önemli kavram, yangının enerjisinin mümkün olan en kısa sürede azaltılmasıdır. Bu yaklaşım belirli bir müdahale yöntemini savunmaktan ziyade, yangının gelişim hızını kontrol altına almayı amaçlamaktadır. Müdahale amaçlı uygulanan ilk su modern yangın taktiklerinde yalnızca söndürme işleminin başlangıcı değil, yangının fiziksel davranışını değiştiren kritik bir müdahaledir. [4] Yangının gelişimi doğrusal değildir. İlk dakikalarda meydana gelen sıcaklık artışı piroliz sürecini hızlandırmakta ve yapı içerisindeki yanıcı gaz miktarını artırmaktadır. Gaz tabakasının enerjisi yükseldikçe radyasyon etkisi de artmakta, henüz yanmamış malzemeler piroliz gazı üretmeye başlamaktadır. Böylece yangın kendi büyümesini hızlandıran bir döngüye girmektedir.
Su uygulaması bu döngüyü birkaç mekanizma ile kırar. Suyun yüksek özgül ısı kapasitesi ve buharlaşma ısısı sayesinde ortamdan büyük miktarda enerji uzaklaştırmaktadır. Su uygulaması sonrasında gaz tabakasının sıcaklığı düşer, radyasyon azalır ve çevredeki yüzeylerin ısınma hızı yavaşlar. Böylece yeni piroliz gazlarının oluşum süreci yavaşlatılır ve yangının büyüme hızı kontrol altına alınır. Erken su uygulamasının temel bilimsel dayanağı bu enerji transferidir. UL FSRI tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli deneylerde su uygulanmasının hemen ardından yalnızca yangın odasında değil, koridorlarda ve komşu odalarda da belirgin sıcaklık düşüşleri meydana gelmiştir. Aynı anda sıcak gaz tabakasının enerjisi azalmış ve FED artış hızı yavaşlamıştır. Yangının enerjisinin azalması toksik gaz üretim hızını da dolaylı olarak etkilemektedir. Yanma koşulları değiştikçe karbon monoksit ve diğer toksik ürünlerin oluşum dinamiği değişmektedir. Bunun sonucunda mağdurun maruz kaldığı toplam fizyolojik yük daha yavaş artmakta ve kurtarma için kullanılabilecek süre uzamaktadır. [9]
İtfaiyeciler açısından da tablo benzerdir. Yangının enerjisinin azalması gaz tabakasının sıcaklığını düşürmekte ve radyasyon yükünü azaltmaktadır. Ekipler yangın odasına daha güvenli koşullarda ilerleyebilmekte, hortum hattını daha etkin kullanabilmekte ve arama faaliyetlerini daha düşük termal stres altında gerçekleştirebilmektedir. Erken su uygulaması, mağdur ve itfaiyeci güvenliği arasında bir tercih yapılmasını gerektiren bir uygulama değildir. Her iki hedefi de destekleyen ortak bir stratejidir. Modern literatürde giderek daha fazla kullanılan “önce soğut, sonra söndür” yaklaşımı da bu anlayışın bir sonucudur. Yangının enerjisi azaltılmadan gerçekleştirilecek birçok operasyonel işlem daha yüksek risk taşımaktadır. Enerji kontrol altına alındıktan sonra arama-kurtarma, havalandırma ve söndürmenin tamamlanması daha güvenli koşullarda mümkün olmaktadır. Buradaki amaç operasyonun sırasını değiştirmek değil, her aşamanın yangın dinamiği üzerindeki etkisini dikkate almaktır. Bu noktada önemli bir yanlış anlamanın önüne geçilmelidir. Erken su uygulaması, her olayda dışarıdan müdahale yapılması gerektiği anlamına gelmez. Yangına güvenli şekilde içeriden kısa sürede ulaşılabiliyorsa, ilk su doğrudan iç müdahale sırasında da uygulanabilir. Bilimsel çalışmaların vurguladığı temel ilke, suyun mümkün olan en kısa sürede yangının bulunduğu odaya ulaştırılmasıdır. Tartışmanın odağı müdahalenin yönü değil, zamanlamasıdır. Operasyonel açıdan bakıldığında olay yeri sorumlusunun temel sorusu artık “içeri mi girelim, dışarıdan mı başlayalım?” olmamalıdır. Sorulması gereken soru, “yangının enerjisini en kısa sürede ve en güvenli şekilde nasıl azaltabiliriz?” sorusudur. Bu bakış açısı, modern yangın dinamiği araştırmalarının ortaya koyduğu en önemli zihniyet değişimlerinden biridir.

7- TÜRKİYE’DEKİ UYGULAMALARIN MODERN YANGIN DİNAMİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapı yangınlarına müdahale yöntemleri ülkelerin tarihsel gelişimi, eğitim sistemleri, yapı stoklarının özellikleri ve operasyonel deneyimleri doğrultusunda şekillenmektedir. Bu nedenle herhangi bir ülkenin yangın müdahale yaklaşımını yalnızca başka ülkelerde uygulanan yöntemlerle karşılaştırarak değerlendirmek doğru değildir. Bununla birlikte yangın dinamiği, ısı transferi ve insan yaşanabilirliği gibi temel fiziksel süreç-

ler evrenseldir. Dolayısıyla uluslararası araştırmalardan elde edilen bulgular bütün yangın hizmetleri için ortak bir bilgi kaynağı oluşturmaktadır. Türkiye'de son yıllarda önemli gelişmeler yaşanmıştır. Büyükşehir itfaiyelerinin eğitim kapasitesi artmış, kişisel koruyucu donanımlar gelişmiş, termal kameralar ve modern söndürme ekipmanları daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Uluslararası eğitim programlarına katılımın artması ve yabancı literatüre erişimin kolaylaşması sayesinde modern yangın dinamiğine ilişkin bilgi düzeyi de önceki yıllara göre belirgin biçimde yükselmiştir. Buna karşılık eğitim içerikleri ve operasyonel uygulamalar incelendiğinde, bazı kavramların henüz bütün teşkilatlarda aynı düzeyde yerleşmediği görülmektedir. Akış yolu, kapı kontrolü, havalandırma kontrollü yangın, yakıt kontrollü yangın, koordineli havalandırma ve yaşanabilirlik kavramları uluslararası literatürde merkezi bir konuma sahipken, Türkiye'deki eğitim programlarında tam anlamıyla ele alınmadığı gözlemlenmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri, söz konusu kavramların büyük bölümünün son on beş yıl içerisinde tam ölçekli deneylerle geliştirilmiş olmasıdır. [1] Türkiye'deki müdahale anlayışının güçlü yönlerinden biri, hızlı olay yeri organizasyonu ve yangına erken ulaşma hedefidir. Birçok teşkilatta ilk ekiplerin kısa sürede müdahaleye başlaması temel öncelik olarak kabul edilmektedir ve bu yaklaşım, modern literatürde vurgulanan "erken etkili müdahale" ilkesiyle uyumludur. Ancak bilimsel çalışmalar yalnızca olay yerine erken ulaşmanın yeterli olmadığını, yangının enerjisinin de mümkün olan en kısa sürede azaltılması gerektiğini
göstermektedir. [4]
Havalandırma kararları bu açıdan üzerinde durulması gereken konuların başında gelmektedir. Ülkemizde birçok olayda havalandırma amaçlı kapı, pencere açılması veya cam kırılması görüşü iyileştirme amacıyla tercih edilmektedir. Oysa modern araştırmalar havalandırmanın zamanlamasının en az havalandırmanın kendisi kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Havalandırma kararlarının söndürme faaliyetleriyle birlikte planlanması, özellikle havalandırma kontrollü yangınlarda çok daha güvenli sonuçlar sağlayacaktır. Kapı kontrolü de benzer şekilde gelişime açık alanlardan biridir. Birçok uluslararası eğitim programında giriş kapısının yönetimi bağımsız bir görev olarak ele alınmaktadır. Bu yaklaşımın Türkiye'deki eğitim senaryolarına daha sistematik biçimde dâhil edilmesi, modern yangın dinamiğinin operasyonel uygulamalara aktarılmasını kolaylaştıracaktır. Bu öneri mevcut uygulamaların yetersiz olduğu anlamına gelmemektedir. Bilimsel araştırmalar doğrultusunda eğitim içeriklerinin güncellenebileceğine işaret etmektedir. Nozul kullanım teknikleri açısından uluslararası literatürde önemli deneysel bulgular bulunmaktadır. Water Mapping çalışması ateşsiz koşullarda suyun hedef hacim ve yüzeylere dağılımını, Air Entrainment çalışması yine ateşsiz koşullarda farklı su akım şekilleri ve hareketlerinin oluşturduğu hava akışını ölçmüştür. Modern araştırmalar, mağdurun bulunduğu odanın özelliklerinin yangına olan mesafesi kadar önemli olduğunu göstermektedir. Kapalı kapılar, akış yolları ve toksik gaz maruziyeti gibi faktörlerin değerlendirilmesi, arama önceliklerinin daha bilinçli belirlenmesine katkı sağlayacaktır. [8] Son yıllarda gerçekleştirilen uluslararası akreditasyon süreçleri ve yabancı eğitim programlarına katılım, bilimsel temelli müdahale anlayışının yaygınlaşması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu süreçler sayesinde yalnızca ekipman standartları değil, karar verme süreçleri ve taktik uygulamalar da uluslararası deneyimlerle karşılaştırılabilmektedir.

Yangın dinamiğinin uygulamalı tam ölçekli senaryolarla desteklenmesi, teorik bilgilerin kontrollü eğitim yangınları, simülasyonlar ve vaka analizleriyle pekiştirilmesi ise personelin yangın davranışını sahada daha doğru yorumlamasını sağlayacaktır. Türkiye'deki yapısal yangın müdahale sistemi güçlü bir operasyonel deneyim üzerine kuruludur. Modern yangın dinamiği araştırmaları bu deneyimi destekleyecek yeni bilimsel araçlar sunmaktadır. Akış yolu yönetimi, kapı kontrolü, koordineli havalandırma, erken etkili su uygulaması ve yaşanabilirlik analizlerinin eğitim ve uygulama süreçlerine daha kapsamlı biçimde entegre edilmesi, mevcut müdahale kapasitesini güçlendirecek başlıca gelişim alanları olarak değerlendirilebilir.

8- SONUÇ VE GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Yapı yangınları son otuz yıl içerisinde kullanılan yapı malzemeleri, mobilya içerikleri ve mimari tasarımlar nedeniyle önemli ölçüde değişmiştir. Sentetik esaslı malzemelerin yaygınlaşması yangınların daha kısa

sürede yüksek enerji üretmesine ve havalandırma kontrollü davranış göstermesine neden olmaktadır. Bu değişim, geçmişte geliştirilen birçok müdahale yaklaşımının günümüz yangınları açısından yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu derlemede incelenen UL FSRI, NIST ve diğer bilimsel çalışmalar, modern yangınların yalnızca alev davranışı üzerinden değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır. Yangının ürettiği enerji, sıcak gaz tabakası, akış yolları, toksik gaz üretimi ve yaşanabilirlik koşulları müdahale kararlarını doğrudan etkileyen temel değişkenlerdir. Modern yangınla mücadelede amaç yalnızca alevleri söndürmek değil, yangının fiziksel davranışını mümkün olan en kısa sürede değiştirmektir. İncelenen tam ölçekli deneyler, erken ve etkili su uygulamasının hem mağdurlar hem de müdahale ekipleri açısından önemli yararlar sağladığını göstermektedir. Yangının enerjisinin erken azaltılması, sıcaklıkların düşmesini, radyasyonun azalmasını, toksik gaz üretim hızının yavaşlamasını ve yaşanabilirlik koşullarının daha uzun süre korunmasını sağlamaktadır. “İlk etkili su” bu nedenle modern yapısal yangın müdahalesinin temel prensiplerinden biri olarak kabul edilmektedir. Dıştan gerçekleştirilen kısa süreli ve hedefe yönelik su uygulamasının, uygun teknikle yapıldığında yangının enerjisini azalttığı deneysel olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte hiçbir müdahale yönteminin bütün olaylar için tek başına en doğru seçenek olmadığı da açıktır. Müdahale yöntemi belirlenirken yapı tipi, yangının gelişim evresi, ekip kapasitesi, erişim imkânı ve mağdur durumu dikkate alınmalıdır.
Bilimsel verilerin ortaya koyduğu temel ilke, belirli bir taktiğin diğerlerine göre üstünlüğü değil, olaya uygun taktiğin seçilmesidir. Kapı kontrolü ve koordineli havalandırma konularında elde edilen bulgular da modern yangın dinamiğinin operasyonel uygulamalara doğrudan yansıdığını göstermektedir. Kontrolsüz hava girişinin sınırlandırılması ve havalandırmanın söndürme ile eş zamanlı planlanması, hem yangın davranışının yönetilmesine hem de müdahale güvenliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Kapalı kapıların yangın sırasında yaşanabilirlik üzerindeki olumlu etkisi ise aramakurtarma stratejilerinin yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir. Türkiye açısından öncelikli ihtiyaç, uluslararası araştırmalarda elde edilen bulguların eğitim programlarına ve operasyonel doktrinlere sistematik biçimde aktarılmasıdır. Akış yolu yönetimi, yaşanabilirlik analizi, kapı kontrolü, koordineli havalandırma ve modern nozul teknikleri gibi konuların hizmet içi eğitimlerde daha kapsamlı ele alınması, mevcut kapasitenin geliştirilmesine doğrudan katkı sağlayacaktır. Ayrıca ülkemizdeki yapı stoku ve müdahale koşullarını esas alan yerli deneysel çalışmaların yürütülmesi, uluslararası bulguların yerel karşılığının doğru biçimde belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın temel sonucu, modern yapısal yangın müdahalesinde tartışmanın “iç müdahale mi, dış müdahale mi, kademeli müdahale mi?” sorusundan çok daha kapsamlı olduğudur. Asıl soru, yangının enerjisinin en kısa sürede ve en güvenli biçimde nasıl azaltılacağıdır. Bilimsel araştırmalar, yaşam güvenliği ile itfaiyeci güvenliğinin birbirine rakip hedefler olmadığını göstermektedir. Modern yangın dinamiği araştırmaları, itfaiyeciliğin giderek daha fazla bilimsel verilere dayanan bir disiplin hâline geldiğini ortaya koymaktadır.Gelecekte müdahale doktrinlerinin gelişimi, deneysel araştırmalar ile saha deneyiminin birlikte değerlendirilmesine bağlı olacaktır. Bilimsel kanıtların operasyonel bilgiyle bütünleştirilmesi, hem vatandaşların yaşam güvenliğini hem de itfaiyecilerin çalışma güvenliğini artıracak en önemli gelişim alanlarından biri olarak görülmelidir.

9- KAYNAKLAR

[1] KERBER, S., Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction, UL Firefighter Safety Research Institute, 2010

[2] WEINSCHENK, C., STAKES, K., ZEVOTEK, R., Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Water Mapping, UL Firefighter Safety Research Institute, 2017

[3] WEINSCHENK, C., STAKES, K., ZEVOTEK, R., Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Air Entrainment, UL Firefighter Safety Research Institute, 2017

[4] STAKES, K., ZEVOTEK, R., WILLI, J., Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Full Scale Experiments, UL Firefighter Safety Research Institute, 2018

[5] WEINSCHENK, C., STAKES, K., BRYANT, J., DOW, N., REGAN, J., Analysis of the Coordination of Suppression and Ventilation in Multi-Family Dwellings, UL Firefighter Safety Research Institute, 2020

[6] REGAN, J., BRYANT, J., WEINSCHENK, C., Analysis of the Coordination of Suppression and Ventilation in Single-Family Homes, UL Firefighter Safety Research Institute, 2020

[7] WEINSCHENK, C., ZEVOTEK, R., Exploratory Analysis of the Impact of Ventilation on Strip Mall Fires, UL Firefighter Safety Research Institute, 2020

[8] TRAINA, N., HORN, G.P., KERBER, S., KYRITSIS, D.C., Occupant Tenability in Single Family Homes: Part I—Impact of Structure Type, Fire Location and Interior Doors Prior to Fire Department Arrival, Fire Technology, 2017

[9] KERBER, S., REGAN, J.W., HORN, G.P., FENT, K.W., SMITH, D.L., Effect of Firefighting Intervention on Occupant Tenability during a Residential Fire, Fire Technology, 2019

[10] NORWOOD, P.J., SALAMEH, N., Todays Evolving Fire Attack, Fire Engineering, 2020

[11] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 13571:2012 Life-threatening Components of Fire – Guidelines for the Estimation of Time to Compromised Tenability in Fires, ISO, 2012

[12] TRAINA, N., KERBER, S., KYRITSIS, D.C., HORN, G.P., Occupant Tenability in Single Family Homes: Part II – Impact of Door Control, Vertical Ventilation and Water Application, Fire Technology, 2017

[13] KERBER, S., MADRZYKOWSKI, D., Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Fire Conditions: 7-Story Building Experiments, NIST Technical Note 1629, National Institute of Standards and Technology, 2009

[14] MADRZYKOWSKI, D., KERBER, S., Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Conditions: Laboratory Experiments, NIST Technical Note 1618, National Institute of Standards and Technology, 2009

[15] Rose, J.J., Carbon Monoxide Poisoning:Pathogenesis, Management and Future Directions of Therapy, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2017

[16] Weaver, L.K., Carbob Monoxide Poisoning, New England Journal of Medicine, 2009

[17] Baud, F.J., Elevated Blood Cyanide Concentrations in Victims of Smoke Inhalation, New England Journal of Medicine, 1991
[18] Alarie, Y., Toxicity of Fire Smoke, Critical Reviews in Toxicology, 2002
[19] Anseeuw, k., Cyanide Poisoning by Fire Smoke Inhalaton: A Europe Expert Consensus, 2013
[20] Grimwood, P., Euro Firefighter 2, 2017

10- KISA ÖZGEÇMİŞ

Şemsettin PARLAK
1987 yılında İzmir'de doğdu. 2012 yılında İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığında görevine başlamış olup, itfaiye çavuşu olarak görevine devam etmektedir. İzmir Demokrasi Üniversitesinde Afet Yönetimi alanında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır.

Ramazan AKTEPE
1996 yılında Denizli'de doğdu. 2016 yılında Bursa İtfaiye Dairesi Başkanlığında itfaiye eri olarak göreve başlamış olup, 2018-2024 yıllarında İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığında görev yapmıştır. 2024 yılından beri Denizli İtfaiyesinde görev yapmakta olup itfaiye çavuşu olarak görevine devam etmektedir. Lisede İtfaiyecilik ve Yangın Güvenliği, Önlisansta Sivil Savunma ve İtfaiyecilik, Yüksek Lisansta ise Sakarya Üniversitesi Yangın ve Yangın Güvenliği alanında eğitimini tamamlamıştır.

Yapısal ve Pasif Yangın Güvenliği Tedbirlerinin İtfaiyeci Emniyeti Açısından Değerlendirilmesi

Salih PALACIOĞLU
Enes İlhan AY
Selçuk ŞENAY
Hakan Serhad SOYHAN

ÖZET

Bu çalışma, binalardaki yapısal ve pasif yangın güvenliği tedbirlerini kullanıcı tahliyesinin ötesinde, itfaiyecilerin güvenli giriş, ilerleme, arama-kurtarma ve geri çekilme koşulları açısından değerlendirmektedir. Araştırmada nitel yöntem benimsenmiş; Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, ilgili uygulama kılavuzu, erişilebilen uluslararası standartlar, teknik başvuru kaynakları ve yangın vakalarına ilişkin belgeler yapılandırılmış doküman analiziyle incelenmiştir. Kartalkaya Oteli yangını ayrıntılı bilirkişi raporuna dayalı ana vaka olarak ele alınırken, İstanbul Masquerade Club yangını haber kuruluşlarınca aktarılan ve yargılama süreci devam eden bilirkişi tespitlerine, Crans-Montana Le Constellation yangını ise devam eden soruşturma kapsamındaki resmî açıklamalar ve haber kaynaklarına dayalı destekleyici vakalar olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada laboratuvar deneyi, bilgisayar simülasyonu veya istatistiksel analiz gerçekleştirilmemiştir. Bulgular; taşıyıcı sistem kararlılığının, kompartıman ve şaft bütünlüğünün, yangın kapılarının, penetrasyon yangın durdurucularının, basınçlandırılmış merdivenlerin ve yapı malzemelerinin yangına tepki özelliklerinin itfaiyeci emniyetini etkileyebilecek temel değişkenler olduğunu göstermektedir. Pasif sistemlerde kullanım sürecinde oluşan hasarların, izinsiz tadilatların ve aktif sistem zafiyetlerinin birlikte ortaya çıkması, binanın güncel yangın güvenliği profilinin öngörülebilirliğini azaltabilmektedir. Bu kapsamda, pasif ve aktif sistemlerin proje aşamasından kullanım ömrünün sonuna kadar izlenmesini ve güncel bina bilgilerinin yetkilendirilmiş itfaiye birimleriyle paylaşılmasını amaçlayan Yangın Güvenlik Pasaportu kavramsal model olarak önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İtfaiyeci emniyeti, pasif yangın güvenliği, yapısal yangın dayanımı, kompartıman bütünlüğü, yangın güvenlik pasaportu.

Assessment of Structural and Passive Fire Safety Measures from the Perspective of Firefighter Safety

ABSTRACT

This study evaluates structural and passive fire safety measures in buildings from the perspective of firefighters' safe entry, interior advancement, search and rescue operations, and emergency withdrawal, rather than focusing solely on occupant evacuation. A qualitative research method was adopted, and the Turkish Regulation on Fire Protection of Buildings, its related implementation guideline, accessible international standards, technical reference sources, and documents concerning fire incidents were examined through structured document analysis. The Kartalkaya Hotel fire was addressed as the primary case study based on a detailed expert report. The Istanbul Masquerade Club fire was examined as a supporting case based on expert findings reported by news organisations while judicial proceedings remain ongoing. The Crans-Montana Le Constellation fire was also evaluated as a supporting case based on official statements and media reports issued within the scope of the continuing investigation. No laboratory experiments,

computer simulations, or statistical analyses were conducted in this study. The findings indicate that structural stability, the integrity of fire compartments and shafts, fire doors, penetration firestop systems, pressurised stairwells, and the reaction-to-fire characteristics of construction materials are key variables that may directly affect firefighter safety. Damage occurring in passive fire protection systems during building use, unauthorised alterations, and deficiencies in active fire protection systems may collectively reduce the predictability of a building's current fire safety profile. Accordingly, a conceptual model referred to as the **Fire Safety Passport** is proposed to facilitate the monitoring of passive and active fire protection systems from the design stage to the end of the building's service life and to enable up-to-date building information to be shared with authorised fire service units.

Keywords: Firefighter safety, passive fire protection, structural fire resistance, compartment integrity, Fire Safety Passport.

1. Giriş

Kentsel yapılaşmanın karmaşıklaşması ve bina iç mekânlarında sentetik polimer esaslı ürünlerin kullanımının artması, kapalı mekân yangınlarının gelişim özelliklerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Modern mobilyalar, yalıtımlar, dekoratif kaplamalar ve diğer sentetik ürünler, belirli yangın senaryolarında yüksek ısı salınım hızlarına, yoğun duman üretimine ve hızlı yangın büyümesine katkıda bulunabilmektedir. Bu değişim, yalnız bina kullanıcılarının tahliye süresini değil, olay yerine daha sonra ulaşarak yanan yapıya girmek zorunda kalan itfaiye ekiplerinin müdahale koşullarını da etkilemektedir.

Binaların yangından korunmasına ilişkin düzenlemeler; tahliye yolları, taşıyıcı sistem dayanımı, yangın kompartımanları, merdiven basınçlandırması, yangın kapıları, cephe ve çatı malzemeleri gibi birçok teknik önlem içermektedir. Söz konusu önlemler öncelikle kullanıcıların can güvenliğini sağlamaya yönelik olmakla birlikte, yangının başladığı hacimde sınırlandırılması, taşıyıcı sistemin belirli bir süre kararlılığını koruması ve korunumlu düşey ulaşım alanlarının oluşturulması yoluyla itfaiye operasyonlarını da desteklemektedir.

İtfaiyecilerin bina içinde güvenli biçimde ilerleyebilmesi, arama-kurtarma faaliyetini sürdürebilmesi ve koşullar ağırlaştığında geri çekilebilmesi; yalnız kişisel koruyucu donanım kapasitesine bağlı değildir. Yapının gerçek yangın güvenliği durumu, yangın kapılarının ve kompartıman sınırlarının bütünlüğü, şaftların korunması, merdiven basınçlandırmasının çalışması, cephe ve çatı sistemlerinin yangın davranışı ile taşıyıcı elemanların ısıl etkiler altındaki performansı operasyonel emniyet üzerinde belirleyici olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yapısal ve pasif yangın güvenliği tedbirlerini itfaiyeci emniyeti açısından incelemek; mevzuat hükümleri, erişilebilen teknik standartlar ve seçilmiş yangın vakaları arasındaki ilişkileri ortaya koymak ve pasif sistemlerin kullanım ömrü boyunca izlenmesine yönelik yaşam döngüsü temelli bir denetim modeli önermektir. Bu doğrultuda çalışmada şu sorulara yanıt aranmıştır:

1. Yapısal ve pasif yangın güvenliği bileşenleri, itfaiyecilerin güvenli giriş, ilerleme ve geri çekilme koşullarını hangi mekanizmalar üzerinden etkileyebilir?
2. Mevcut mevzuatın pasif sistemlerin kullanım sürecindeki kontrolü ve kayıt altına alınması bakımından güçlü ve sınırlı yönleri nelerdir?
3. İncelenen yangın vakalarında tespit edilen yapısal, pasif ve aktif sistem zafiyetleri hangi ortak operasyonel risklere işaret etmektedir?
4. Binaların güncel yangın güvenliği durumunun itfaiye teşkilatına aktarılmasını sağlayacak yaşam döngüsü temelli bir kayıt modeli nasıl yapılandırılabilir?

2. Kavramsal ve Teknik Çerçeve

2.1. Modern Yakıt Paketleri ve Değişen Yangın Dinamikleri

Modern kapalı mekân yangınlarında kullanılan yakıt paketinin cinsi, miktarı, yerleşimi ve havalandırma koşulları yangının büyüme hızını belirleyen temel değişkenlerdir. Sentetik esaslı mobilyalar, süngerler, kaplamalar ve yalıtım ürünleri belirli koşullarda geleneksel doğal malzemelerden daha hızlı yangın gelişimine katkıda bulunabilmektedir.

NFPA 1700'de aktarılan belirli tam ölçekli deney koşullarında, modern yakıt paketleriyle donatılmış bir hacimde flashover olayının 235 saniyede meydana gelebildiği bildirilmiştir (National Fire Protection Association [NFPA], 2021a). Bu süre bütün modern yapı yangınları için geçerli evrensel bir değer değildir. Bununla birlikte bulgu, yakıt paketi ve havalandırma şartlarına bağlı olarak itfaiyecilerin güvenli giriş zaman penceresinin kısa olabileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Yanıcı gaz ve buharların alt ve üst tutuşabilirlik sınırları da kapı açma, havalandırma ve duman tahliyesi kararlarında dikkate alınması gereken destekleyici mühendislik verileridir (Hurley et al., 2016). Ancak LFL ve UFL değerleri, katı polimer ürünlerin bulunduğu bütün kapalı mekân yangınlarını tek başına açıklayan göstergeler değildir. Yangın gelişimi; yakıt yüzeyi, piroliz hızı, oksijen mevcudiyeti, hacim geometrisi ve açıklık koşullarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

2.2. Yapısal Yangın Dayanımı ve Göçme Riski

Bir yapının yangın altındaki taşıyıcı sistem performansı, itfaiyecilerin bina içinde çalışabileceği zaman aralığını etkileyen temel unsurlardandır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, taşıyıcı sistemlerin yangında insanların tahliyesi veya söndürme süresince kararlılığını koruyacak şekilde boyutlandırılmasını öngörmektedir. Betonarme elemanlarda beton örtüsü, donatının sıcaklık artışını geciktiren ve taşıma kapasitesinin korunmasına katkı sağlayan başlıca pasif koruma bileşenlerinden biridir (Bakanlar Kurulu, 2007).

Yangın dayanım süreleri, gerçek bir yangında yapının kesin göçme zamanını göstermez. Standart yangın deneyleriyle elde edilen sınıflandırmalar ile gerçek yangının yakıt yükü, havalandırması, sıcaklık-zaman eğrisi, yapısal sürekliliği ve mevcut hasar durumu arasında farklılıklar bulunabilir. Bu nedenle taşıyıcı sistem dayanımı, itfaiyeciler için garanti edilmiş bir operasyon süresi olarak değil, yapısal kararsızlığın başlamasını geciktirebilecek bir güvenlik bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

NFPA 1700'de yer verilen ikincil deneysel bulgular, özellikle hafif ahşap yapı sistemlerinde ısıl bozunma ve bağlantı elemanlarındaki kapasite kaybının erken göçme riskini artırabildiğini göstermektedir (NFPA, 2021a). Bu durum itfaiyecilerin yalnız yangının bulunduğu katta değil, üst ve alt katlarda da düşme, enkaz altında kalma ve geri çekilme yolunun kesilmesi riskleriyle karşılaşmasına neden olabilir.

2.3. Kompartıman, Şaft ve Penetrasyon Bütünlüğü

Kompartıman sistemlerinin amacı, alevlerin, sıcak gazların ve dumanın belirli bir süre boyunca yangının başladığı bölümün dışına yayılmasını sınırlandırmaktır. Yangın duvarları, yangın bariyerleri, yangın kapıları, döşemeler, şaft duvarları ve tesisat penetrasyonlarında kullanılan yangın durdurucu sistemler bu bütünlüğün parçalarını oluşturur.

BYKHY'de yüksek binalardaki belirli düşey şaft ve baca duvarlarının en az 120 dakika, kapaklarının ise en az 90 dakika yangına dayanıklı ve duman sızdırmaz olması öngörülmektedir (Bakanlar Kurulu, 2007). Ancak tasarım aşamasında sağlanan kompartıman bütünlüğü; kablo, boru veya kanal geçirilmesi, uygunsuz tadilat yapılması, kapıların değiştirilmesi ya da yangın durdurucu malzemelerin zarar görmesi sonucunda kullanım sürecinde bozulabilir.

Döşeme hizasında açık bırakılan şaftlar, binada baca etkisi oluşturarak duman ve sıcak gazların üst katlara taşınmasını hızlandırabilir. Asansörlerin yangın sırasında çalışmaya devam etmesi ise piston ve basınç etkileri oluşturarak dumanın katlar arasında hareketini etkileyebilir. Bu koşullar, üst katlarda görev yapan itfaiyecilerin görüş, yön bulma, ilerleme ve geri çekilme imkânlarını sınırlandırabilir.

2.4. Yapı Malzemelerinin Yangına Tepki Davranışı

Yangına tepki sınıflandırması, yapı ürünlerinin yangının başlangıcına ve gelişimine ne ölçüde katkıda bulunduğunu değerlendirmektedir. BS EN 13501-1'e göre yapı ürünleri yanmaya katkılarına göre A1'den F'ye kadar sınıflandırılmakta; duman üretimi ve gelişimi s1, s2, s3, yanıcı damla ve parçacık oluşumu ise d0, d1, d2 göstergeleriyle ifade edilmektedir (British Standards Institution [BSI], 2018).

Duman sınıfları, yanma ürünlerinin kimyasal toksisitesini doğrudan sınıflandırmaz. Bununla birlikte duman üretimindeki artış; görüş mesafesinin azalması, yön bulmanın güçleşmesi ve operasyonel ilerlemenin yavaşlaması bakımından itfaiyeci emniyetiyle ilişkilidir. Yanıcı damlacık ve parçacık oluşumu da personelin ve alt kotlardaki malzemelerin ikincil tutuşma riskini etkileyebilir.

Çatı kaplaması ve çatı sistemlerinin dış yangın etkisine karşı performansı BS EN 13501-5 kapsamında sınıflandırılmaktadır (BSI, 2016). B_ROOF bir taşıyıcı sistem yangın dayanım süresi değil, çatının dış yangın etkisine karşı gösterdiği performansın sınıflandırılmasıdır.

Tam ölçekli dış cephe deneylerinde OSB ve fiber çimento içeren bazı cephe düzeneklerinde, yangın sonrasında OSB arka yüzeyinde dışarıdan kolaylıkla fark edilemeyen için için yanmaların devam edebildiği gözlenmiştir (Gorham et al., 2025). Bu tür gizli yanmalar doğrudan flashover göstergesi değildir; ancak soğutma ve kontrol faaliyetleri tamamlandıktan sonra yeniden alevlenme riski oluşturabilir.

2.5. Güvenli Giriş, İlerleme ve Geri Çekilme Koşulları

İtfaiye operasyonlarının güvenliği yalnız yangın katına erişimle sınırlı değildir. Müdahale ekiplerinin korunumlu bir alanda hazırlanabilmesi, hortum hatlarını düzenleyebilmesi, arama ekiplerini yönlendirebilmesi ve koşullar ağırlaştığında geri çekilebilmesi gerekir. Basınçlandırılmış merdiven yuvaları, uygun yangın güvenlik holleri ve duman sızdırmaz kapılar bu bakımdan önemli korunumlu alanlar sağlayabilir.

BYKHY'ye göre basınçlandırma sistemi çalışırken ve bütün kapılar kapalıyken merdiven yuvası ile kullanım alanları arasındaki basınç farkının en az 50 Pa olması gerekmektedir (Bakanlar Kurulu, 2007). Bakanlık kılavuzu, bu hükmün uygulamasına ilişkin açıklamalar sunmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Merdivenlerin dumanla dolması, yangın kapılarının duman sızdırmazlık özelliğini kaybetmesi veya geri çekilme güzergâhlarının tadilatlarla daraltılması, itfaiyecilerin korunumlu müdahale alanı oluşturmasını güçleştirebilir. Kişisel koruyucu donanımlar ve solunum cihazları önemli koruma sağlamakla birlikte, yapı yangınlarında oluşabilecek tüm ısıl ve kimyasal koşullara karşı sınırsız koruma sağlamaz. NFPA 1500'ün bilgilendirici eklerinde olay yeri tehdit değerlendirmesi ile uygun kişisel koruyucu donanım seçiminin önemi vurgulanmaktadır (NFPA, 2021b).

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Araştırma Tasarımı

Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Araştırma kapsamında laboratuvar deneyi, bilgisayar tabanlı yangın veya duman simülasyonu ve nicel istatistiksel analiz gerçekleştirilmemiştir. Araştırma; yapı-

landırılmış doküman analizi, sınırlı standart karşılaştırması, dokümana dayalı vaka incelemesi ve kavramsal model geliştirme aşamalarından oluşmaktadır.

3.2. Kaynak Seçimi

Çalışmanın temel ulusal kaynakları BYKHY ile Bakanlık tarafından yayımlanan uygulama kılavuzudur. Uluslararası kaynaklar arasından yalnız tam metnine veya araştırmanın konusuyla ilgili teknik tablolarına erişilebilen belgeler değerlendirmeye alınmıştır. BS EN 13501-1 ve BS EN 13501-5 sınıflandırmaları, NFPA 1700'de aktarılan belirli deney bulguları, NFPA 1500'ün erişilebilen bilgilendirici ekleri ve SFPE Handbook'taki mühendislik verileri bu kapsamda incelenmiştir.

İçeriğine yalnız içindekiler, dizin veya kaynakça düzeyinde erişilebilen standartlardan teknik hüküm çıkarılmamıştır. Bu nedenle uluslararası standart karşılaştırması, bütün standart sistemini temsil eden kapsamlı bir karşılaştırma değil, erişilebilen teknik bölümlerle sınırlı tematik ve betimsel bir incelemedir.

3.3. Analiz Birimleri

Doküman analizinde aşağıdaki teknik temalar analiz birimi olarak belirlenmiştir:

- Taşıyıcı sistem kararlılığı ve göçme riski,
- Yangın kompartımanları ve yangın kapıları,
- Şaftlar ve tesisat penetrasyonları,
- Cephe ve çatı sistemleri,
- Malzemelerin yangına tepki özellikleri,
- Merdiven basınçlandırması ve duman kontrolü,
- Güvenli giriş, ilerleme ve geri çekilme koşulları,
- Pasif sistemlerin kullanım sürecindeki kontrol ve kayıtları.

3.4. Vaka Seçimi ve Kanıt Düzeyleri

Kartalkaya Oteli yangını, ayrıntılı bilirkişi heyet raporuna erişilebilmesi nedeniyle ana vaka olarak seçilmiştir. Raporda yer alan taşıyıcı sistem testleri, şaft ve asansör boşlukları, cephe ve çatı malzemeleri, kaçış yolları, tadilatlar ve denetim süreçleri incelenmiştir (İmrak et al., 2025).

İstanbul Masquerade Club yangını, yargılama sürecinde dosyaya sunulan bilirkişi değerlendirmelerinin haber kuruluşlarınca aktarılan bölümleri üzerinden destekleyici vaka olarak ele alınmıştır. Mevcut bilirkişi raporları arasında çelişkiler bulunduğu ve mahkeme tarafından yeni rapor talep edildiği için bu vakaya ilişkin bulgular kesinleşmiş yargı tespitleri olarak değerlendirilmemiştir.

Crans-Montana Le Constellation yangını ise devam eden soruşturma kapsamındaki resmî açıklamalar ve güvenilir haber kaynakları üzerinden ön vaka olarak incelenmiştir. Yangının kesin nedeni, malzeme uygunluğu ve olası mevzuat ihlalleri konusunda nihai teknik rapor bulunmadığından, yalnız doğrulanabilen olay bilgileri ve ilk değerlendirmeler kullanılmıştır.

3.5. Verilerin Yorumlanması

Mevzuat hükümleri, standart sınıflandırmaları, deneysel bulgular ve vaka tespitleri birbirinden ayrılarak değerlendirilmiştir. Teknik verilerin itfaiyeci emniyetine olası etkileri; güvenli giriş zaman penceresi, yapısal kararlılık, görüş ve yön bulma, ilerleme, arama-kurtarma ve geri çekilme değişkenleri üzerinden yorumlanmıştır.

ASET ve RSET kavramları kullanıcı tahliye analizine ait kavramlar olarak korunmuş; itfaiyecilerin müdahale süresi veya güvenli operasyon zamanı yerine kullanılmamıştır.

4. Bulgular

4.1. Taşıyıcı Sistem Kararlılığı ve Göçme Riski

BYKHY, taşıyıcı sistemlerin tahliye veya söndürme süresince kararlılığını koruyacak şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir. Betonarme elemanlarda yeterli beton örtüsü, donatının sıcaklık artışını geciktiren başlıca pasif koruma unsurlarındandır (Bakanlar Kurulu, 2007).

NFPA 1700'de aktarılan ikincil deneysel bulgular, hafif ahşap taşıyıcı sistemlerde ısıl bozunmanın ve bağlantı zafiyetlerinin erken kapasite kaybına yol açabileceğini göstermektedir (NFPA, 2021a). Bu durum, iç müdahale sırasında yapısal kararsızlık ve göçme riskinin sürekli değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

4.2. Kompartıman, Şaftlar ve Duman Yayılımı

Kompartıman bütünlüğünün korunması, alev ve dumanın yatay ve düşey yayılımını geciktiren temel pasif güvenlik işlevidir. Şaft duvarları ve kapakları için öngörülen yangın dayanımı ve duman sızdırmazlık şartları, düşey yayılımın sınırlandırılmasına yöneliktir.

Şaftların döşeme hizasında açık bırakılması, penetrasyonların yangın durdurucu sistemlerle korunmaması ve uygun olmayan kapıların kullanılması, tasarlanan kompartıman bütünlüğünü ortadan kaldırabilir. Bu zafiyetler üst katlarda duman birikimini hızlandırarak görüş, yön bulma ve geri çekilme koşullarını olumsuz etkileyebilir.

4.3. Yapı Malzemeleri, Çatı ve Dış Cephe Davranışı

BS EN 13501-1 sınıflandırması, malzemelerin yanmaya katkısını, duman üretimini ve yanıcı damlacık oluşturma davranışını tanımlamaktadır (BSI, 2018). BS EN 13501-5 ise çatı kaplaması veya çatı sisteminin dış yangın etkisine karşı performansını sınıflandırmaktadır (BSI, 2016).

Tam ölçekli cephe deneylerinde belirli OSB ve fiber çimento düzeneklerinde dışarıdan fark edilmesi güç arka yüzey yanmalarının devam edebildiği görülmüştür (Gorham et al., 2025). Bu bulgu, dış cephe yangınlarında görünür alevlerin söndürülmesinden sonra kaplama arkasının ve boşlukların kontrol edilmesinin önemini göstermektedir.

4.4. Güvenli Giriş ve Geri Çekilme Koşulları

Merdiven yuvalarının basınçlandırılması ve yangın kapılarıyla korunması, müdahale ekiplerinin korunumlu bir alandan çalışabilmesini desteklemektedir. BYKHY'de bütün kapılar kapalıyken öngörülen en az 50 Pa basınç farkı, merdiven yuvasına duman girişini sınırlandırmaya yöneliktir.

NFPA 1700'de aktarılan belirli deney koşullarında flashover'ın 235 saniyede gerçekleşmesi, hızlı yangın gelişiminin güvenli giriş zaman penceresini daraltabileceğini göstermektedir (NFPA, 2021a). Ancak söz konusu süre, farklı bina ve yangın senaryolarına doğrudan uygulanabilecek genel bir sınır değildir.

4.5. Denetim ve Yaşam Döngüsü Kayıtları

BYKHY'nin genel denetim hükümleri, yetkili idarelerin binanın bölümlerini ve teçhizatını incelemesini ve

belirlenen eksikliklerin giderilmesini öngörmektedir. Bununla birlikte incelenen belgelerde yangın kapıları, şaft yalıtımları, penetrasyon yangın durdurucuları, cephe boşlukları ve taşıyıcı yangın koruması için sistem bazlı kontrol yöntemi, kontrol sıklığı, denetçi yeterliliği ve standart kayıt formatı açık ve ayrıntılı biçimde tanımlanmamıştır.

Bu durum, başlangıçta uygun tasarlanan pasif sistemlerin kullanım sürecinde zarar görmesi veya değiştirilmesi hâlinde zafiyetlerin ancak tadilat kontrolleri, bina yönetiminin dikkati ya da sonraki genel denetimlerde belirlenebilmesine yol açabilmektedir.

4.6. Kartalkaya Oteli Vaka Bulguları

Kartalkaya Oteli yangını, ayrıntılı bilirkişi heyet raporuna dayalı ana vaka olarak incelenmiştir. Yangına yoğun şekilde maruz kalan bazı bölgelerde Schmidt çekici ve ultrasonik dalga hızı testleri yapılmıştır. Test edilen alanlarda beton örtüsü bölgelerinde dayanım kaybı bulunduğu, bazı çekirdek beton bölgelerinin özelliklerini büyük ölçüde koruduğu ve yerel segregasyonlar olduğu bildirilmiştir (İmrak et al., 2025). Bu bulgular yalnız test edilen bölgelere ilişkin olup, binanın bütünsel yapısal kararlılığı hakkında tek başına kesin sonuç vermemektedir.

Raporda döşeme hizasındaki şaft açıklıklarının uygun yangın durdurucu sistemlerle kapatılmamasının baca etkisine katkıda bulunduğu; asansörlerin çalışmaya devam etmesinin ise dumanın katlar arasındaki hareketini etkileyen piston ve basınç etkileri oluşturduğu belirtilmiştir.

Dış cephede ve çatı sisteminde bulunan yanıcı kaplamalar ile yalıtım ürünlerinin yangının yayılımına katkıda bulunduğu değerlendirilmiştir. Sonradan eklenen panoramik asansörün çatı altında sonlanan düzenlemesinin duman ve sıcak gaz birikimiyle ilişkili olduğu raporlanmıştır.

Kaçış merdivenlerinin yangın kapıları yerine duman sızdırmazlık özelliği bulunmayan ahşap kapılarla ayrılması ve bazı merdivenlerin basınçlandırılmaması, korunumlu kaçış ve müdahale alanlarının dumanla kirlenmesine katkı sağlayan unsurlar arasında gösterilmiştir. Ana giriş kapısının açık bırakılması da yangının havalandırma şartlarını etkileyen bir değişken olarak değerlendirilmiştir.

Mimari projelere aykırı tadilatların, şaft zafiyetlerinin ve devre dışı bırakılan yangın ihbar sistemlerinin zamanında belirlenip giderilememesi, binanın onaylı projeleriyle yangın anındaki gerçek durumu arasındaki farklılığı ortaya koymuştur.

4.7. Crans-Montana ve İstanbul Masquerade Club Vakaları

Crans-Montana'daki Le Constellation yangını, devam eden soruşturma nedeniyle ön vaka niteliğindedir. Resmî bilgilere göre 41 kişi hayatını kaybetmiş, 115 kişi yaralanmıştır (Federal Office of Public Health, 2026). Valais makamlarının açıklamasında olay sırasında genel tutuşma olarak çevrilebilecek "embrasement généralisé" geliştiği bildirilmiştir (Canton du Valais, 2026).

İlk soruşturma ve haber bilgileri, kıvılcımlı servis mumlarının bodrum tavanındaki ses yalıtım köpüğünü tutuşturmuş olabileceği ihtimali üzerinde durulduğunu göstermektedir (Reuters, 2026b). Bu bilgi kesinleşmiş yangın nedeni değil, soruşturulan muhtemel senaryodur. Ayrıca mekânda son yangın güvenliği denetiminin 2019'da yapıldığı ve 2020–2025 dönemindeki yıllık denetimlerin gerçekleştirilmediği bildirilmiştir (Reuters, 2026a).

İstanbul Masquerade Club yangınına ilişkin bulgular, devam eden yargılama kapsamında hazırlanmış bilirkişi raporlarının haber kuruluşlarınca aktarılan bölümlerine dayanmaktadır. Yangının tadilat sırasında gerçekleştirilen kaynak ve metal kesme işlemlerinden çıkan kıvılcımların izolasyon ve ses yalıtım ürünlerini tutuşturmasıyla başladığı değerlendirilmiştir (Somuncu, 2025).

Haberlere yansıyan bilirkişi bulgularında, projedeki acil çıkış bölümlerinin kapatılması veya daraltılması, tadilat malzemelerinin kaçış yollarını olumsuz etkilemesi, sprinkler ve acil aydınlatma gibi aktif sistemlerin

çalışmaması ve yeni faaliyet veya ruhsat süreçlerinde güncel itfaiye raporunun alınmaması gibi hususlar yer almaktadır (Demirören Haber Ajansı, 2026; Somuncu, 2025). Ancak bilirkişi raporları arasında çelişkiler bulunduğu ve yeni bir rapor istendiği için bu değerlendirmeler kesinleşmiş mahkeme tespiti olarak kabul edilmemiştir.

İki gece kulübü vakası farklı kanıt düzeylerine sahip olmakla birlikte, kapalı mekânlarda kullanılan yalıtım ve dekorasyon ürünlerinin kontrolü, tadilat süreçlerinin denetlenmesi ve yangın güvenliği kontrollerinin sürekliliği bakımından ortak risk alanlarına işaret etmektedir.

5. Tartışma

5.1. Yapısal Kararlılık ve Operasyonel Zaman Marjı

Taşıyıcı sistemin yangın sırasında kararlılığını koruması, itfaiyecilerin yapı içerisinde çalışabileceği zaman aralığını destekleyen temel güvenlik unsurlarındandır. Ancak standart yangın dayanım süresinin gerçek yangında garanti edilmiş müdahale süresi olarak yorumlanması uygun değildir. Gerçek performans; yangının büyüme hızı, havalandırma, yapısal sistem, bağlantılar, mevcut hasarlar ve yangın korumasının sürekliliğiyle birlikte değerlendirilmelidir.

Kartalkaya'daki yerel beton testleri, belirli bölgelerde yangın etkisinin beton örtüsünde yoğunlaştığını göstermiştir. Bununla birlikte bu testlerden yapının tamamının güvenli olduğu veya genel göçmenin kesin olarak önlendiği sonucu çıkarılamaz. Hafif ahşap sistemlere ilişkin ikincil deney bulguları da her yapı türünün yangın altındaki kapasite kaybı mekanizmasının farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu nedenle yapısal yangın dayanımının yalnız kullanıcı tahliyesi bakımından değil, arama, müdahale ve geri çekilme faaliyetlerinin performansa dayalı değerlendirilmesi bakımından da ele alınması gerekmektedir. Bu yaklaşım, standart yangın dayanım süresinin doğrudan operasyon süresine eşitlenmesi anlamına gelmemelidir.

5.2. Kompartıman Bütünlüğünün İtfaiye Operasyonlarına Etkisi

Kompartıman sınırları yalnız yangının yayılımını geciktirmez; aynı zamanda itfaiyecilerin daha öngörülebilir bir yangın alanında çalışmasına katkı sağlar. Yangın kapılarının açık kalması, şaft ve penetrasyonların korunmaması veya uygunsuz tadilatlar, yangın ve dumanın tasarlanmamış güzergâhlardan ilerlemesine neden olabilir.

Kartalkaya vakasındaki şaft ve asansör bulguları, düşey boşlukların yangın yayılımındaki önemini göstermektedir. Dumanın üst katlara ulaşması, ekiplerin henüz yangından doğrudan etkilenmediği düşünülen katlarda beklenmedik koşullarla karşılaşmasına yol açabilir. Bu durum yön bulmayı, arama planını ve güvenli geri çekilme kararlarını zorlaştırabilir.

5.3. Malzeme Davranışı ve Gizli Yangın Riskleri

Malzemelerin yangına tepki sınıfı, yangının büyümesine katkı ve duman üretimi bakımından önemlidir. Bununla birlikte tek bir malzeme sınıfı, gerçek yangındaki bütün performansı açıklamaz. Ürünlerin birlikte kullanımı, montaj biçimi, boşluklar, alt tabakalar ve havalandırma şartları sistem davranışını değiştirebilir.

BS EN 13501-1'in duman sınıfları toksisiteyi doğrudan göstermemektedir. Buna rağmen hızlı duman üretimi görüş koşullarını ağırlaştırarak itfaiyecilerin ilerleme hızını ve yön bulma kabiliyetini etkileyebilir. Dış cephe boşluklarında devam eden gizli yanmalar ise görünür yangının kontrol altına alınmasından sonra yeniden alevlenme olasılığı yaratabilir. Bu nedenle cephe ve çatı operasyonlarında yalnız görünür alevlerin

söndürülmesi yeterli görülmemeli; boşlukların termal görüntüleme, açma ve fiziksel kontrol yöntemleriyle incelenmesi değerlendirilmelidir.

5.4. Aktif ve Pasif Sistemlerin Birlikte Değerlendirilmesi

Aktif ve pasif yangın güvenliği sistemleri farklı çalışma prensiplerine sahip olmakla birlikte aynı güvenlik stratejisinin tamamlayıcı parçalarıdır. Algılama, alarm ve sprinkler sistemleri yangının erken belirlenmesine ve büyümesinin sınırlandırılmasına katkı sağlarken; kompartımanlar, kapılar ve şaft korumaları alev ve dumanın yayılımını geciktirir.

İstanbul ve Kartalkaya vakalarında bildirilen aktif ve pasif sistem zafiyetlerinin eş zamanlı olması, güvenlik katmanlarının birlikte kaybedilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte bu zafiyetlerin her olayın sonucunu hangi oranda etkilediği, mevcut çalışma kapsamında nicel olarak belirlenememektedir.

5.5. Denetim, Tadilat ve Kullanım Süreci

Binaların yangın güvenliği yalnız proje ve yapı kullanım izni aşamalarında sağlanan uygunluktan ibaret değildir. Yangın kapılarının değiştirilmesi, şaftların açılması, kablo ve boru geçişlerinin eklenmesi, tavan ve duvar kaplamalarının yenilenmesi ya da kullanım amacının değiştirilmesi pasif sistem performansını etkileyebilir.

Kartalkaya, İstanbul ve Crans-Montana vakaları farklı kanıt düzeylerinde olmakla birlikte, tadilatların ve kullanım sürecindeki değişikliklerin yeterince izlenmemesinin yangın güvenliği risk profilinin güncelliğini azaltabileceğine işaret etmektedir. Onaylı proje ile yapının gerçek durumu arasındaki fark büyüdükçe, itfaiye ekiplerinin olay yeri değerlendirmesinde kullandığı ön bilgiler güvenilirliğini kaybedebilir.

5.6. Mevzuatın Güçlü ve Sınırlı Yönleri

BYKHY; taşıyıcı sistem dayanımı, kompartıman, yangın kapıları, şaftlar, cepheler, çatılar ve merdiven basınçlandırması gibi konularda kapsamlı tasarım hükümleri içermektedir. Bu hükümler kullanıcı tahliyesini desteklediği gibi yangının yayılımını geciktirerek itfaiye müdahalesine de katkıda bulunmaktadır.

Bununla birlikte doğrudan itfaiyeci emniyetine yönelik ölçülebilir operasyon kriterleri sınırlıdır. Ayrıca pasif sistemlerin kullanım sürecindeki kontrol sıklığı, kontrol yöntemi, denetçi yeterliliği ve standart kayıt biçimi bütün sistemler için ayrıntılı olarak tanımlanmamıştır.

6. Yaşam Döngüsü Temelli Denetim Modeli

Pasif yangın güvenliği sistemlerinin performansı, tasarım ve ilk kabul aşamasındaki uygunluğun yanında kullanım sürecindeki sürekliliğine bağlıdır. Bu nedenle denetim yaklaşımının proje, uygulama, kabul, kullanım, bakım, tadilat ve fonksiyon değişikliği aşamalarını kapsaması gerekir.

Önerilen modelde aşağıdaki unsurların tanımlanması öngörülmektedir:

Yaşam döngüsü aşaması	Kaydedilecek temel bilgiler	İtfaiyeci emniyetiyle ilişkisi
Proje	Taşıyıcı sistem, kompartımanlar, şaftlar, cephe ve çatı sistemi	Başlangıçtaki yangın güvenliği düzeninin belirlenmesi
Uygulama	Kullanılan ürünler, sınıflandırmalar ve montaj kayıtları	Tasarımla uygulama arasındaki uygunluğun doğrulanması
Kabul	Testler, kontroller, eksiklikler ve düzeltmeler	Sistemlerin kullanıma başlarken işlevsel olduğunun belgelenmesi
Kullanım	Periyodik kontroller ve meydana gelen hasarlar	Pasif sistem bütünlüğündeki bozulmaların izlenmesi
Tadilat	Yeni penetrasyonlar, kapı değişiklikleri ve fonksiyon değişimleri	Onaylı planla gerçek yapı arasındaki farkın azaltılması
Olay öncesi paylaşım	Güncel planlar, çalışmayan sistemler ve kritik zafiyetler	İtfaiyenin olay yeri stratejisini daha güvenilir bilgiyle oluşturması

Bu model mevcut mevzuatta zorunlu olarak tanımlanmış bir sistem değildir. Çalışma kapsamında geliştirilen kavramsal öneri niteliğindedir.

7. Yangın Güvenlik Pasaportu Kavramsal Modeli

Yangın Güvenlik Pasaportu, bir binanın yapısal, pasif ve aktif yangın güvenliği geçmişini yaşam döngüsü boyunca izlemeyi amaçlayan bütünleşik ve dijital bir kayıt modeli olarak önerilmektedir.

Pasaportta en az aşağıdaki bilgi gruplarının bulunması öngörülmektedir:

- Onaylı mimari ve yangın güvenliği projeleri,
- Taşıyıcı sistem ve yangın koruması bilgileri,
- Kompartıman duvarları, yangın kapıları ve şaftlar,
- Tesisat penetrasyonları ve kullanılan yangın durdurucu sistemler,
- Cephe ve çatı ürünlerinin sınıflandırmaları,
- Algılama, alarm, sprinkler ve duman kontrol sistemlerinin durumu,
- Periyodik kontrol ve bakım kayıtları,
- Tadilat ve kullanım amacı değişiklikleri,
- Giderilmemiş uygunsuzluklar,
- Yetkili denetçi ve sorumlu kişi bilgileri,
- İtfaiye için kritik erişim ve müdahale bilgileri.

Bilgilerin güncelliği, hangi kurum veya kişinin kayıt girebileceği, doğrulama sorumluluğu, kişisel ve kurumsal verilerin korunması ile itfaiye erişiminin yetkilendirilmesi modelin uygulama esasları içinde açıkça tanımlanmalıdır.

Yangın Güvenlik Pasaportu, tek başına yapının güvenli olduğunu garanti eden bir belge olarak görülmemelidir. Modelin işlevi, mevcut durumun izlenebilirliğini artırmak ve olay yeri kararlarında kullanılabilecek güncel bilgiyi sağlamaktır.

8. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, yapısal ve pasif yangın güvenliği önlemlerinin itfaiyeci emniyetiyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Taşıyıcı sistem kararlılığı, kompartıman bütünlüğü, yangın kapıları, şaft ve penetrasyon korumaları, merdiven basınçlandırması, cephe ve çatı sistemleri itfaiyecilerin bina içindeki güvenli giriş, ilerleme ve geri çekilme koşullarını etkileyebilmektedir.

İncelenen vakalar, yangın güvenliği zafiyetlerinin yalnız tasarım eksikliklerinden kaynaklanmadığını; kullanım sürecindeki tadilatlar, sistemlerin devre dışı bırakılması, yangın kapılarının değiştirilmesi ve denetimlerin aksaması sonucunda da ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte vakaların farklı kanıt düzeylerine sahip olması nedeniyle bu bulgulardan evrensel ve kesin nedensellik sonuçları çıkarılmamalıdır.

Çalışma kapsamında aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Taşıyıcı sistem yangın dayanımı, tahliye gereksinimlerinin yanında itfaiyecilerin arama, müdahale ve geri çekilme koşullarını da içeren performansa dayalı senaryolarla değerlendirilmelidir.
2. Yangın kapıları, şaftlar, penetrasyon yangın durdurucuları, cephe boşlukları ve taşıyıcı sistem yangın korumaları için sistem bazlı periyodik kontrol yöntemleri oluşturulmalıdır.
3. Kontrol sıklıkları, denetçi yeterlilikleri, uygunsuzluk sınıfları, düzeltme süreleri ve standart kayıt formatları açık biçimde tanımlanmalıdır.
4. Tadilat ve kullanım amacı değişikliklerinde yapının yangın güvenliği yeniden değerlendirilmelidir.
5. Aktif ve pasif sistemler bütünleşik bir risk yaklaşımıyla kontrol edilmelidir.
6. Konaklama ve eğlence yapılarında kullanılan iç kaplama, dekorasyon, yalıtım ve ses düzenleme ürünlerinin yangına tepki özellikleri daha sıkı biçimde doğrulanmalıdır.
7. Güncel bina planları ve kritik yangın güvenliği bilgileri, yetkilendirilmiş itfaiye birimlerinin erişebileceği dijital bir altyapıda tutulmalıdır.
8. Yangın Güvenlik Pasaportu modeli pilot uygulamalarla denenmeli; veri güncelliği, yetkilendirme, sorumluluk ve denetim esasları belirlenmelidir.
9. Gelecek çalışmalarda şaft zafiyetleri, cephe boşlukları, kapıların açık kalması ve farklı yakıt paketleri performansa dayalı yangın ve duman simülasyonlarıyla incelenmelidir.
10. İtfaiyecilerin güvenli giriş ve geri çekilme koşullarına yönelik yeni zaman marjı göstergeleri geliştirilecekse, bunların ASET/RSET'ten ayrı, çalışmaya özgü kavramsal ölçütler olduğu açıkça belirtilmelidir.

9. Çalışmanın Sınırlılıkları

Araştırmanın temel sınırlılığı, kullanılan kaynakların ve incelenen vakaların farklı kanıt düzeylerine sahip olmasıdır. Kartalkaya Oteli vakası ayrıntılı bilirkişi heyet raporuna dayanırken, İstanbul Masquerade Club vakası devam eden yargılama kapsamında hazırlanmış ve haber kuruluşlarınca aktarılan bilirkişi değerlendirmelerine dayanmaktadır. Crans-Montana vakası ise devam eden soruşturmanın resmî açıklamaları ve haber kaynakları üzerinden değerlendirilmiştir.

Çalışmada doğrudan itfaiye müdahale kayıtları, personel maruziyet ölçümleri, laboratuvar deneyleri, sayısal yangın simülasyonları veya istatistiksel analiz kullanılmamıştır. Bazı uluslararası standartların yalnız belirli teknik bölümlerine erişilebilmiş; tam metnine ulaşılamayan belgelerden teknik hüküm çıkarılmamıştır.

Bu sınırlılıklar nedeniyle çalışmanın sonuçları, bütün konaklama ve eğlence yapıları için kesin neden-sonuç ilişkisi kurmak amacıyla kullanılamaz. Bulgular, mevzuat hükümleri, erişilebilen deneysel veriler ve vaka belgeleri arasındaki olası ilişkilerin itfaiyeci emniyeti açısından değerlendirilmesiyle sınırlıdır.

Kaynaklar

Bakanlar Kurulu. (2007, 19 Aralık). Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik (Karar Sayısı: 2007/12937). *T.C. Resmî Gazete* (Sayı: 26735).

British Standards Institution. (2016). *BS EN 13501-5:2016 fire classification of construction products and building elements: Classification using data from external fire exposure to roofs tests*.

British Standards Institution. (2018). *BS EN 13501-1:2018 fire classification of construction products and building elements: Classification using data from reaction to fire tests*.

Canton du Valais. (2026, 1 Ocak). *Crans-Montana—Point de situation sur les moyens engagés*. https://www.vs.ch/web/communication/w/point-de-situation-sur-les-moyens-engag%C3%A9s

Demirören Haber Ajansı. (2026, 18 Mayıs). *Beşiktaş'ta 29 kişinin öldüğü gece kulübü yangını davası: Mahkeme, yeni bilirkişi raporu istedi*. https://www.dha.com.tr/gundem/besiktasta-29-kisinin-oldugu-gece-kulubu-yangini-davasi-mahkeme-yeni-bilirkisi-raporu-istedi-2875583

Federal Office of Public Health. (2026, 2 Şubat). *Crans-Montana fire*. https://www.bag.admin.ch/en/crans-montana-fire

Gorham, D. J., Willi, J. M., & Horn, G. P. (2025). Residential exterior wall reaction to post-flashover compartment fires. *Fire and Materials, 49*(5), 708–727. https://doi.org/10.1002/fam.3278

Hurley, M. J., Gottuk, D., Hall, J. R., Jr., Harada, K., Kuligowski, E. D., Puchovsky, M., Torero, J. L., Watts, J. M., Jr., & Wieczorek, C. J. (Eds.). (2016). *SFPE handbook of fire protection engineering* (5th ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0

İmrak, C. E., Timur, S. İ., Trabzon, L., İlki, A., Serteser, N., Kocabaş, D. A., İskender, H., & Çağlayan, R. (2025). *Bolu Cumhuriyet Başsavcılık Makamına bilirkişi heyet raporu (Dosya No: 2025/962 S. No.)*.

National Fire Protection Association. (2021a). *NFPA 1700: Guide for structural fire fighting*.

National Fire Protection Association. (2021b). *NFPA 1500: Standard on fire department occupational safety, health, and wellness program*.

Reuters. (2026a, 6 Ocak). *Swiss bar in deadly blaze had missed six years of safety checks*. https://www.reuters.com/world/no-safety-inspections-done-site-swiss-bar-fire-between-2020-25-says-mayor-2026-01-06/

Reuters. (2026b, 7 Ocak). *Soundproofing foam in Swiss bar fire should have been checked by law, official says*. https://www.reuters.com/world/europe/soundproofing-foam-swiss-bar-fire-should-have-been-checked-by-law-official-says-2026-01-07/

Somuncu, E. (2025, 7 Nisan). *Beşiktaş'ta 29 kişinin öldüğü gece kulübü yangınına ilişkin 22 sanığın yargılanmasına devam edildi*. Anadolu Ajansı. https://www.aa.com.tr/tr/gundem/besiktasta-29-kisinin-oldugu-gece-kulubu-yanginina-iliskin-22-sanigin-yargilanmasina-devam-edildi/3530595

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik kılavuzu*. Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü.

KISA ÖZGEÇMİŞ

SELÇUK ŞENAY

Selçuk ŞENAY, Bursa Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığında Bölge Amiri olarak görev yapmaktadır. İtfaiyecilik alanında yaklaşık 20 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Maliye lisans eğitiminin yanı sıra Afet ve Acil Durum Yönetimi, İş Sağlığı ve Güvenliği ile Adalet alanlarında ön lisans eğitimlerini tamamlamıştır.

Yangın ve Yangın Güvenliği Mühendisliği alanında tezli, İş Sağlığı ve Güvenliği alanında ise tezsiz yüksek lisans derecesine sahiptir. B sınıfı iş güvenliği uzmanı ve adli bilirkişi olan Şenay'ın çalışma alanları; yapısal ve pasif yangın güvenliği, endüstriyel yangın riskleri, toz patlamaları, yangın risk analizi, itfaiyeci emniyeti ve acil durum yönetimidir. Ulusal bilimsel etkinliklerde bildiriler sunmuş ve yangın güvenliği alanında akademik çalışmalar yayımlamıştır.

Enes İlhan AY

İtfaiyecilik mesleğine 2018 yılında özel sektörde başlayan Enes İlhan Ay, burada edindiği saha deneyimiyle yangınla mücadele, acil müdahale ve olay yeri koordinasyonu alanlarında görev yapmıştır. Mesleki gelişimini farklı eğitim ve uygulamalarla sürdüren Ay; yangınlara müdahale, arama-kurtarma, risk analizi, tatbikat planlaması ve KBRN olaylarına müdahale konularında çalışmalar yürütmektedir.

2023 yılından itibaren Bursa Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı bünyesinde, İnegöl İtfaiye Amirliğinde itfaiye eri olarak görev yapan Enes İlhan Ay; saha tecrübesini bilimsel ve teknik yaklaşımlarla birleştirmeye yönelik çalışmalara önem vermektedir. Özellikle endüstriyel yangın güvenliği, mobilya üretiminde yangın ve kimyasal riskler, acil durum yönetimi ve itfaiyeci emniyeti konularında mesleki ve akademik çalışmalarını sürdürmektedir.

SABİT KIYMET RİSK YÖNETİMİNDE RİSK MİNİMİZASYONUNUN YANGIN SİGORTACILIĞINDA FİNANSAL KATKILARI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Burkay KARADAYI
Etkin HASGÜL

ÖZET

Risk yönetimi ISO 31000 standartlarında ortaya koyulduğu itibarıyla metodolojik olarak kapsamın ve kriterlerin belirlenmesi, risk değerlendirme, risk azaltımı, raporlama, iletişim ve danışma, sürekli izleme ve inceleme aşamalarını içermektedir. Bütün bu süreçlerin bir bütün halinde yürütüldüğü sabit kıymet risk yönetim çalışmaları endüstriyel tesislerin kurumsal risk yönetimleri açısından önemli tespitler, çıktılar ve yol haritaları sunmaktadır. Bu bağlamda yürütülen risk değerlendirme çalışmalarında analiz edilen risklerin azaltılması endüstriyel kuruluşlara sürdürülebilir dayanıklılığın yanı sıra risk transfer süreçlerinin optimizasyonu açısından da önemli kararlar sunmaktadır. Bu çalışmada sigortacılıkta yaygın olarak tanımlanan risklerin beklenen finansal kayıp sonuçlarının modellemesi amacıyla kullanılan Normal Hasar Beklentisi (NLE), Olası En Büyük Hasar (PML) ve Tahmin Edilen En Büyük Hasar (MFL) senaryo yöntemleri kullanılarak bir endüstriyel tesisin risk transfer süreçlerinin optimizasyonu ve bu optimizasyonun finansal katkıları ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Yürütülen örnek çalışmada endüstriyel bir tesis için iyileştirme önerileri öncesinde hesaplanan hasar senaryoları ve yangın risk primi, önerilerin tamamlanmasının ardından hesaplanan yeni hasar senaryo ve risk primleriyle kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda satın alınan sigorta poliçe limiti ve prim hesaplaması üzerinden yapılan risk yönetimi çalışmasının finansal katkıları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Risk yönetimi, risk minimizasyonu, tahmin edilen en büyük kayıp

A STUDY ON THE FINANCIAL CONTRIBUTIONS OF RISK MINIMIZATION IN PROPERTY RISK MANAGEMENT WITHIN FIRE INSURANCE

ABSTRACT

Risk management, as outlined in the ISO 31000 standards, methodologically encompasses the determination of scope and criteria, risk assessment, risk mitigation, reporting, communication and consultation, as well as continuous monitoring and review stages. The integrated execution of these processes within property risk management activities provides significant insights, outputs, and roadmaps for the corporate risk management of industrial facilities. In this context, the reduction of analyzed risks in risk assessment studies offers industrial organizations critical decisions not only for sustainable resilience but also for the optimization of risk transfer processes. This study aims to demonstrate the optimization of risk transfer processes and the financial benefits of this optimization for an industrial facility by employing the Normal Loss Expectancy (NLE), Probable Maximum Loss (PML), and Maximum Foreseeable Loss (MFL) scenario

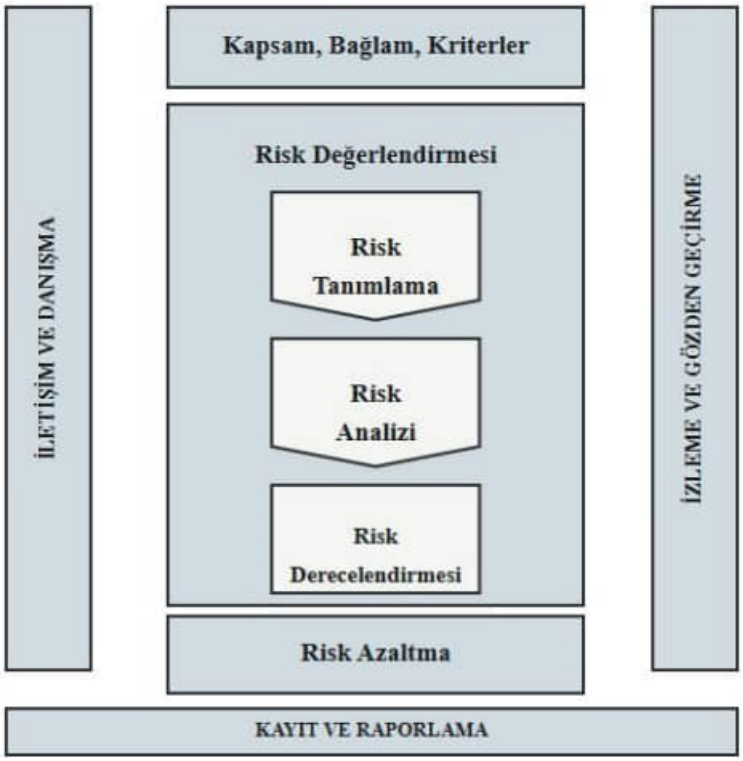
methodologies, which are widely used in insurance to model the expected financial loss outcomes of defined risks. In the conducted case study, loss scenarios and fire risk premiums calculated prior to the improvement recommendations were compared with the new loss scenarios and risk premiums calculated after the recommendations were fully implemented. The comparison results illustrate the financial contributions of risk management efforts based on the purchased insurance policy limits and premium calculations.

Keywords: Risk management, risk minimization, maximum loss estimation

1.GİRİŞ

Uluslararası boyutta genel kabul görmüş risk yönetimi metodolojisi ISO 31000 standartlarınca ortaya koyulan aşamaları takip etmektedir. Bu aşamalar risk yönetimi çalışmalarına çok katmanlı bir katılımı ve iletişimi öncelikleyen, sürecin adımlarının tespit edilen kapsam, bağlam ve kriterlere göre ölçümlendiği, adımların süreç boyunca izlendiği ve gerekli kısımlarının yeniden düzenlendiği bir metodolojiyi takip etmektedir. Bu metodolojide yürütülen risk değerlendirme çalışmalarının da düzenli olarak kaydedildiği ve raporlandığı sürecin gelişimi takip etme açısından yapılan izleme ve kontroller önemli bir yere sahiptir.

ISO 31000-2018 standartlarında yukarıda özetlenen metodoloji Şekil-1'deki gibi gösterilmiştir [18].



Şekil-1. ISO 31000-2018 Risk Yönetimi Metodolojisi

Şekil-1'de ortaya koyulan metodoloji gerek kurumsal risk yönetimi gerekse de sigortacılık bakış açısıyla yürütülen sabit kıymet risk yönetimi çalışmalarının da temellendirildiği metodolojidir. Endüstriyel işletmelerde yürütülen sabit kıymet risk yönetimi metodolojilerinde risk değerlendirme aşamasının sonucunda

belirlenecek riskli durumlar ve bunların etkilerinin azaltılmasına yönelik yapılacak risk azaltma planlamaları tesislerin finansal devamlılığı açısından kritik öneme sahiptir. Belirlenecek risk azaltma aksiyon planının uygulamasıyla birlikte devam eden sürecin düzenli olarak izlenip mevcut durumun gözden geçirilmesi de risk yönetim metodolojisinin işlevliği açısından önemlidir. Sabit kıymet risklerinin sigorta kanalıyla transfer edilmesinde yaygın olarak kullanılan yangın sigortacılığında yürütülen risk mühendisliği çalışmaları hem risk değerlendirmesi ve riski azaltma hem de sürecin sürekli olarak izlenip gözden geçirilmesi açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

Risk azaltma aksiyonlarının endüstriyel işletmelerin riskini azaltmanın yanı sıra aynı zamanda yangın sigortacılığında doğrudan finansal tasarrufa da katkı sunduğu uygulamalar söz konusu olmaktadır. Sigorta bedeli esaslı sigorta poliçeleri yerine tercih edilebilen olay ve limit esaslı sigorta poliçeleri görece daha düşük prim ödeyerek sigorta satın alma maliyetlerini azaltarak finansal tasarrufa katkı sunabilmektedir. Endüstriyel tesisler olası bir yangın hadisesinin etkilerini aldıkları önlemlerle sınırlayarak sigorta bedelinin tamamını kapsayacak şekilde sigorta poliçesi satın almaktansa yaşanabilecek maksimum hasar tutarını öngörecek şekilde poliçe tedariği ile yıllık primlerde kayda değer düşüşler elde edebilmektedir.

1.1. Yangın Sigortacılığında Hasar Tahmin Yöntemleri

Yangın sigortacılığında ve sabit kıymet risk yönetiminde bir tesisin potansiyel hasar büyüklüğünü modellemek amacıyla birbirine hiyerarşik biçimde bağlı üç temel hasar tahmin yöntemi kullanılmaktadır: Normal Hasar Beklentisi (Normal Loss Expectancy - NLE), Olası En Yüksek Hasar (Probable Maximum Loss - PML) ve Tahmin Edilen En Büyük Hasar (Maximum Foreseeable Loss - MFL). Bu üç yöntem, aynı tesis için koruma sistemlerinin işlevsellik düzeyine ilişkin farklı varsayımlar altında olası hasar büyüklüğünü sırasıyla artan bir muhafazakârlık düzeyinde ifade etmektedir [13].

Normal Hasar Beklentisi (Normal Loss Expectancy - NLE), bir hasar olayının tüm aktif ve pasif koruma sistemlerinin eksiksiz çalıştığı koşullar altında yol açabileceği hasar miktarını ifade etmektedir. NLE, sprinkler sistemleri, yangın algılama ve alarm düzenekleri, acil müdahale kapasitesi ve tüm pasif bölümlendirme önlemlerinin işlevsel olduğu olağan senaryoyu temsil etmekte, gerçekleşmesi en olası hasarın bir ölçütü olarak değerlendirilmektedir [13]. Sigorta uygulamasında NLE muafiyet (deductible) limitlerinin belirlenmesinde, hasar önleme yatırımlarının önceliklendirilmesinde ve “underwriting” analizinin başlangıç noktasının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Hasar istatistikleri incelendiğinde endüstriyel tesislerde gerçekleşen hasarların büyük çoğunluğunun NLE senaryolarına uygun biçimde sonuçlandığı görülmektedir; bu da NLE’yi sigortalanabilir riskin olağan beklenti düzeyindeki ölçütü olarak konumlandırmaktadır.

Olası En Yüksek Hasar (Probable Maximum Loss - PML), aktif koruma sistemlerinin bir kısmının devre dışı kaldığı ya da kısmi arıza gösterdiği koşullar altında gerçekleşmesi olası en yüksek hasar büyüklüğünü ifade etmektedir. PML, NLE ile MFL arasında yer alan ara seviye bir ölçüt olarak değerlendirilebilir: her şeyin yolunda gittiği NLE senaryosunun aksine PML, bir veya birkaç kritik koruma unsurunun beklenen şekilde çalışmadığı ancak sistemin bütününün çökmediği koşulları modellemektedir. Aktüeryal literatürde PML kavramı, sigorta sektörünün en kötü makul senaryo düşüncesinin merkezinde yer almakta ve sermaye yeterliliği ile kapasite kararlarında kullanılmaktadır [28]. Pratik uygulamada PML, özellikle makine kırılması ve ekipman arızası kaynaklı hasar senaryolarında yaygın biçimde kullanılmakta; yangın tehlikeleri dışında ekipman çöküşü kayıplarının üst sınırını tahmin etmede de önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır [13]. Literatürde PML’nin tanımsal sınırlarının sektörden sektöre farklılık gösterdiği vurgulanmakta, bu nedenle kavramın her çalışmada açıkça tanımlanması önerilmektedir.

Tahmin Edilen En Büyük Hasar (Maximum Foreseeable Loss - MFL), aktif koruma sistemlerinin ve güvenlik cihazlarının tamamının devre dışı kaldığı, müdahalenin geciktiği ve tesise ilişkin tüm olumsuz koşulların bir arada gerçekleştiği varsayımı altında tek bir hasar olayından kaynaklanabilecek en büyük kayıp olarak tanımlanmaktadır [7]. Bu tanım çerçevesinde MFL senaryosu; tehlike türü (yangın, patlama, ekipman arızası vb.), senaryo zaman çizelgesi, fiziksel hasar boyutu ve iş durması etkisi olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır. NLE ve PML'nin aksine MFL yalnızca aktif koruma düzeneğinin işlevsizliğini değil, yangın duvarları ve ayırma mesafesi gibi pasif koruma unsurlarının da yetersiz kaldığı senaryoları kapsamakta, bu yönüyle üç yöntemin en muhafazakâr olanını oluşturmaktadır [13].

FM Global [7], MFL değerlendirmesinde inşaat tipi, doluluk içeriği ve aktif-pasif koruma düzeneğinin birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Buna göre MFL senaryosu, bir üretim tesisinde ya da depoda tek bir olayın yol açabileceği en büyük yapı, içerik ve stok kaybını kapsamakta; iş durması etkisini ise ayrı bir bileşen olarak modellemektedir [7]. Bu çerçevede onarım/yeniden inşaat, kademeli yeniden başlatma ve gelir kayıplarını içeren üç aşamalı bir restorasyon süreci öngörülmekte; ayrıca olası yasal yaptırım maliyetleri, dekontaminasyon giderleri ve tedarik zinciri kesintileri gibi ek kayıpların da MFL hesabına dahil edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

MFL'nin sınırlandırılması, aktif koruma sistemlerinin devre dışı kaldığı varsayımı nedeniyle yalnızca pasif koruma unsurlarına dayandırılmaktadır. Bu bağlamda yangın bölümlendirme duvarları, binalar arası yeterli ayırma mesafesi ve hasar sınırlayıcı inşaat gibi fiziksel engeller, bir yangın hasarının belirli bir sınırın ötesine geçmesini önleyebilecek temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Tesisin yerleşim planı, yüksek değerli süreçlerin ya da kritik ekipmanların birbirinden ayrılarak konumlandırılması ve N+1 yedekleme kapasitesi oluşturulması gibi kararlar doğrudan MFL sınırını etkilemektedir [7].

NLE, PML ve MFL, birbirini dışlayan değil bir araya getirildiğinde tesisin hasar profilini farklı senaryolar altında tam olarak ortaya koyan tamamlayıcı ölçütlerdir. Uygulamada bu üç değerin birlikte hesaplanması, "underwriter" tarafından riskin olağan, olası kötü ve en kötü öngörülebilir boyutlarının görülmesi sağlanmakta; bu da poliçe limit yapısının ve prim hesabının gerçek hasar potansiyeline dayalı biçimde kurgulanmasına zemin hazırlamaktadır [13]. Nitekim NLE'nin muafiyet belirleme, PML'nin sigorta kapasitesi ve reasürans kararları, MFL'nin ise poliçe üst limiti tespiti için kullanılması sektörün yerleşik uygulamaları arasında yer almaktadır.

İş durması bileşeni, bu üç ölçütün her birinde fiziksel hasar boyutundan bağımsız olarak ayrıca modellenmesi gereken bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Özellikle endüstriyel tesislerde iş durması kayıpları fiziksel hasarın çok üzerinde finansal sonuçlar doğurabilmekte; tedarik zinciri bağımlılıkları ve üretim kapasitesinin tek noktada toplanması bu etkiyi daha da artırmaktadır. Njegomir ve Demko Rihter [26], iş ve tedarik zinciri kesintisi sigortasının çağdaş işletmeler için giderek daha kritik bir teminat unsuru hâline geldiğini vurgulamakta; sabit kıymet hasarına ilişkin MFL değerlendirmesinin iş durması etkisini yansıtmaksızın yapıldığında gerçek finansal riski eksik yansıtabileceğine dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda sabit kıymet risk değerlendirme çalışmalarının iş sürekliliği planlamasıyla bütünleşik yürütülmesi önemlidir.

1.2. Sigorta Limiti ve Yangın Risk Primi Hesaplama

Yangın sigortacılığında sigorta limiti belirleme kararları tarihsel olarak sigorta bedelinin tamamını esas alan tam değer ilkesine dayandırılmıştır. Bununla birlikte, aktif ve pasif koruma önlemlerinin gelişmesiyle birlikte, tesislerde oluşabilecek gerçek hasar boyutunun sigorta bedelinin önemli ölçüde altında kalabildiği

görülmüş; bu durum limit esaslı ve olay bazlı poliçe yapılarının yaygınlaşmasının önünü açmıştır. Risk mühendisliği raporlarına dayalı hasar tahmin çalışmalarının (loss estimate studies) hem poliçe limit yapısını hem de prim müzakerelerini doğrudan etkileyebildiği sektör uygulamalarında gözlemlenmektedir. Bu bağlamda NLE, PML veya MFL gibi üst kayıp sınırı metriklerinin güvenilir biçimde belirlenmesi, sigorta alıcısının gerçek risk profilini "underwriter" tarafına sayısal olarak aktarmasını sağlamakta; böylece poliçe koşulları ve prim düzeyi üzerinde doğrudan bir müzakere gücü yaratmaktadır [1, 2, 21].

Sigortacılık ekonomisi literatüründe risk azaltımı ile fiyatlandırma arasındaki ilişki, risk bazlı prim (risk-based premium) yaklaşımı çerçevesinde ele alınmaktadır. Hoyt ve Liebenberg [16] kurumsal risk yönetimi (ERM) uygulamalarının firma değerine pozitif katkı sağlayabildiğini ortaya koyarken Eckles vd. [4] sigorta sektörü özelinde kurumsal risk yönetiminin risk azaltımının marjinal maliyetini düşürebildiğini göstermektedir. Bu bulgular, daha düşük bir MFL değerine yol açan fiziksel iyileştirme yatırımlarının yalnızca mühendislik açısından değil, sigorta programının finansal yapısı açısından da katma değer ürettiği argümanını desteklemektedir.

Yangın koruma sistemlerinin prim üzerindeki etkisini ele alan uygulamalı literatür, sprinkler gibi otomatik söndürme sistemlerinin aktif olduğu tesislerde yangının başlangıç noktasıyla sınırlı kalarak ortalama sabit kıymet hasarını belirgin biçimde düşürdüğünü ortaya koymaktadır [14]. Bu ampirik bulgu, aktif yangın korumasının hasar senaryosu üzerindeki etkisini doğrudan yansıtmamakla birlikte – zira MFL gibi hasar senaryoları, aktif koruma sistemlerinin devre dışı kaldığı varsayımına dayanmaktadır – söndürme sistemlerinin yangın yayılımını sınırlama kapasitesine sahip olduğunu ve bu yolla NLE ve PML düzeyini ve buna bağlı prim hesaplamalarını etkileyebildiğini göstermektedir [15].

Risk azaltımı ile sigorta optimizasyonu arasındaki bağın kurumsal çerçevede anlaşılması için ISO 31000 risk yönetimi metodolojisi belirleyici bir referans oluşturmaktadır. Purdy, ISO 31000:2009 standardının riski daha yalın ve bütüncül bir yaklaşımla tanımladığını ve farklı disiplinler arasında ortak bir dil oluşturmayı hedeflediğini vurgulamaktadır [27]. Bu yönüyle standart, fiziksel risk iyileştirmelerini kurumsal risk yönetimi süreçleriyle bütünleştiren yapısal bir platform sunmakta, böylece mühendislik kararlarının sigorta transferi üzerindeki finansal etkilerinin sistematik biçimde değerlendirilmesine zemin hazırlamaktadır. Lalonde ve Boiral ise ISO 31000'in pratikte yalnızca standart uyumu değil, aynı zamanda yönetsel pratik ve saha düzeyinde uygulama kalitesi meselesi olduğuna dikkat çekmektedir [22]; bu değerlendirme, sabit kıymet risk çalışmalarının akademik geçerliliği açısından özellikle önem taşımaktadır.

Yangın sigortasında saf prim/risk primi (pure premium), bir sigorta poliçesinin yalnızca beklenen hasar yükünü karşılamaya yönelik bileşeni olarak tanımlanmakta; işletme giderleri, kâr marjı ve risk yüklemesi bu kavramın dışında tutulmaktadır [20]. Aktüeryal bilimin temel ilkesi doğrultusunda saf prim, beklenen kaybın (expected loss) doğrudan bir fonksiyonu olup bu değer, belirli bir hasar olayının gerçekleşme olasılığı ile söz konusu olayın yol açacağı hasar büyüklüğünün çarpımı olarak ifade edilmektedir [3].

Toplam beklenen kayıp, klasik aktüeryal frekans-şiddet ayrıştırması (frequency-severity decomposition) çerçevesinde modellenebilir. Bu yaklaşımda kayıp olayının beklenen değeri, Eşitlik-1'deki gibi olayın gerçekleşme frekansı ile her bir olaya ilişkin koşullu beklenen şiddetin çarpımına eşitlenmektedir:

$$E[L] = E[N] \times E[S \mid N > 0] \quad (1)$$

Burada kayıp olayı frekansını, ise olay gerçekleştiği koşulda beklenen hasar şiddetini temsil etmektedir [20].

Endüstriyel yangın riski değerlendirmesinde kayıp şiddetinin tek bir deterministik değerle ifade edilmesi, koruma sistemlerinin işleyiş durumuna ve müdahale kapasitesine bağlı olarak gerçekleşebilecek çok sayıda farklı hasar büyüklüğünü göz ardı edeceğinden yetersiz kalmaktadır. Bu sorunu gidermek üzere senaryo bazlı risk değerlendirmesi (scenario-based risk assessment) yaklaşımı, farklı koruma başarısızlığı koşullarını ayrı senaryolar olarak modelleyerek her birine özgü olasılık ve hasar büyüklüğü atamaktadır [17]. Bu çalışmada endüstriyel yangın riski, birbirini dışlayan ve kapsamlı (mutually exclusive and collectively exhaustive — MECE) üç senaryo (NLE, PML ve MFL) altında tanımlanmıştır.

Senaryo olasılıkları koruma sistemlerinin çalışma güvenilirliğine dayalı mühendislik değerlendirmesi ile belirlenmiştir. Eşitlik-2'deki gibi üç senaryonun olasılıklarının toplamı bire eşit olup MECE koşulunu sağlamaktadır:

$$\sum_{i \in \{NLE,\, PML,\, MFL\}} p_i = 1 \tag{2}$$

Toplam beklenen hasar, yangın çıkma olasılığı ile senaryo ağırlıklı beklenen hasar şiddetinin çarpımına dayanan iki aşamalı bir frekans-şiddet modeli olarak formüle edilmiştir. Senaryo için beklenen hasar şiddeti, ilgili senaryo altındaki toplam hasar tutarı ile o senaryonun koşullu olasılığı 'nin çarpımıdır. Tüm senaryolar üzerinden alınan ağırlıklı beklenen hasar Eşitlik-3'teki biçimde ifade edilmektedir:

$$E[S \mid \text{yangın}] = \sum_i p_i \cdot S_i \tag{3}$$

Risk primi ise yangın çıkma olasılığı ile koşullu beklenen kaybın çarpımı olarak Eşitlik-4'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Pi = p_f \sum_i p_i \cdot S_i \tag{4}$$

Bu formülasyon, tam kapsayan beklenen değer ilkesinin (expected value principle) senaryo ayrıştırmalı biçimine karşılık gelmektedir [12]. Söz konusu ilke, sigortacılık matematiğinde risk priminin hesaplanmasında başvurulan en temel aktüeryal yöntem olarak geniş kabul görmektedir [19].

Hasar tutarı , her senaryo kapsamında sabit kıymet hasarı (property damage — PD) ve iş durması hasarının (business interruption — BI) toplamından oluşmakta olup Eşitlik-5'teki gibi gösterilmiştir.

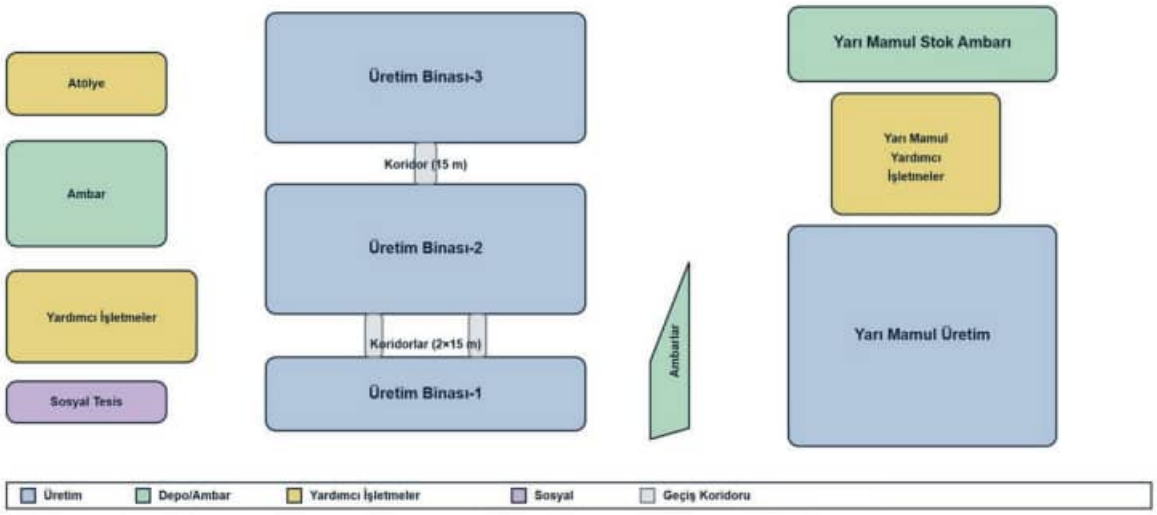
$$S_i = S_i^{PD} + S_i^{BI} \tag{5}$$

Bu ayrım, yangın kayıplarının yalnızca fiziksel varlık tahribatını değil, üretim kesintisine bağlı dolaylı ekonomik kayıpları da kapsadığını açıkça ortaya koymaktadır; bu husus endüstriyel yangın risk değerlendirmesinde sıklıkla vurgulanmaktadır [10].

2. UYGULAMA VE BULGULAR

Bu çalışmada örnek tesis uygulaması amacıyla otomotiv, tekstil, malzeme teknolojileri gibi sektörlere hammadde tedariği sağlayan, petrokimya esaslı ürünler üreten bir endüstriyel tesis ele alınmıştır. İşletmede yürütülen sabit kıymet risk yönetimi çalışması esnasında Türkiye'de yangın sigortacılığı, uluslararası sigortacılık sektöründe ise PD/BI (Property Damage / Business Interruption) olarak adlandırılan endüstriyel tesislerin sabit kıymetleri ve yaşanabilecek herhangi bir sigorta konusu hasar sonucundaki iş durmasına bağlı kar kaybı durumlarının tanzim edildiği sigortacılık alanına konu riskler ele alınmıştır. Yangın sigortası kapsamında ele alınan riskler yangın ana teminatının yanı sıra deprem, sel-su baskını, fırtına gibi doğal afet durumlarıdır. Örnek uygulamaya konu tesisin yaklaşık yerleşim krokisi Şekil-2.'deki gibidir.

Yapılan saha çalışması sonucunda tahmin edilen en büyük hasarın hesaplanması için senaryo çalışması gerçekleştirilmiş ve MFL değeri hesaplanmıştır. FM Global MFL senaryosunun oluşturulması için sabit kıymet hasarının en yüksek olacağı alanda yangının başlatılmasını öngörmektedir [7]. Yürütülen saha çalışmasında Şekil-2.'de yer alan tesis yerleşiminde olası yangın hadisesinin Üretim Binası-2 kısmında başlaması öngörülmüştür. Bu bina tesisin ana üretiminin yapıldığı üç üretim binasından biri olup diğer iki bina binanın ortasında konumlanmış durumdadır. Üretim binaları birbirlerine yaklaşık 15 metrelik mesafelerle konumlanmış olmalarına karşın binaların birbirlerine ara geçiş koridorlarıyla bağlandıkları gözlemlenmiştir. MFL durumlarının sınırlandırılması için tesiste alınması gereken önlemlerin anlatıldığı FM Global teknik föyüne göre bitişik nizamlı binaların 240 dakikalık yangın dayanımı sağlayan duvarlarla bölümlendirilmemesi durumunda tek bir yangın alanı olarak ele alınmaları gerektiği belirtilmiştir [8]. Şekil-2.'de yer alan yerleşim planından da görüleceği üzere üretim binaları arasında mesafe bulunmasına karşın bu binaların ara geçiş koridorlarıyla bağlanmaları nedeniyle Üretim Binası-2'de başlayabilecek bir yangının Üretim Binası-1 ve Üretim Binası-3'e de sirayet edebileceği değerlendirilmiştir.



Şekil-2. Örnek Tesis Yerleşim Krokisi

2.1. İyileştirme Önerileri Öncesi Hasar Senaryoları

Tesisin mevcut durumu üzerinden yapılan saha çalışması sonucunda 3 farklı hasar senaryosu oluşturulmuş ve oluşturulan her bir hasar senaryosu sonucunda yaşanması beklenen ekonomik kayıp hesaplanmıştır. Hasar hesaplaması için tesisin sabit kıymetlerinin parasal değerleri örnek bir işletme için yaklaşık olarak belirlenmiştir. Hasar boyutunun büyüklüğüne göre senaryolar 3 farklı seviyede ele alınmıştır.

Tesis için oluşturulan birinci seviye Normal Hasar Beklentisine (NLE) konu yangın senaryosu Tablo 2.1'deki, ikinci seviye Olası Maksimum Hasara (PML) konu yangın senaryosu Tablo 2.2'deki, üçüncü seviye Tahmin Edilen En Büyük Hasara (MFL) konu yangın senaryosu Tablo 2.3'teki ve senaryoların özeti Tablo 2.4'teki gibidir.

Tablo 2.1 İyileştirme Öncesi NLE Senaryosu

Tanım:

Birincil koruma sistemleri çalışır durumdadır ve manuel yangınla mücadele imkânı mevcuttur.

Senaryo:

Üretim Binası-2'de başlayan bir yangın senaryosu esas alınmıştır. Bu senaryoda yangına müdahale sistemlerinin, acil durum ekiplerinin ve kamu itfaiyelerinin olaya hızlı ve erken müdahale edebileceği göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle söz konusu yangın hadisesine hızlıca müdahale edilerek yangının bina genelinde yayılmayacağı öngörülmüştür. Yaşanılan yangının Üretim Binası-2 içinde belirli bir bölgede hasara yal açması beklenmektedir.

Meydana gelen yangın hadisesinin etkilerinin Üretim Binası-2 içinde sınırlı kalması nedeniyle oluşacak maddi hasarın yanı sıra ayrıca işletmenin üretiminin bir bölümünde de kısa süreli iş durması yaratması beklenmektedir. Sadece Üretim Binası-2 kısmında (tesis üretiminin yaklaşık üçte biri) 3 aylık duruş yaşanması öngörülmüştür.

Varsayımlar:

Sabit Kıymet hasarı aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır:

- Olay, hafta sonu gece yarısından sonra, personel sayısının az olduğu ve alan denetiminin en düşük seviyede olduğu zamanda meydana gelir.
- Statik yüklenme/boşalma kaynaklı tutuşma ve patlama.
- Tesis acil durum ekipleri ve en yakın itfaiye biriminden dış yardım talep edilmiştir, ancak en yakın itfaiyenin müdahale gecikmesi nedeniyle.

***İlave maliyetler toplam hasarın %5'i kadar eklenmiştir:

- Artan işçilik

Enkaz kaldırma vb.

Sınırlandırmalar:

Hasarın tehlike türü ve yapı unsurlarına bağlı olduğu bir kayıp olayı olup, aşağıdaki durumlar varsayılmıştır:

- Tüm yangın koruma sistemleri aktif ve tasarlandığı şekilde çalışmaktadır.
- Tesisin tamamı için Endüstriyel İtfaiye (veya Tesis Acil Durum Ekibi) ile Belediye İtfaiye ekibi müdahalesi beklenmektedir.
- Tasarım süresi derecesine uygun olarak, tüm düzgün bakımı yapılmış yangın bariyerlerinin işlevini yapacağı öngörülür.

Yapı özellikleri tasarlandığı şekilde işlev görmektedir.

Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Sabit Kıymet Hasarı (TL)**
Bina(lar)	5.000.000.000	5%	250.000.000
Makine & Ekipman	12.500.000.000	5%	625.000.000
Emtia	1.750.000.000	3%	52.500.000
***İlave Maliyetler	927.500.000	5%	46.375.000
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			973.875.000

İş Durması	**Süre**	**% Etkilenen**	**İş Durması Hasarı (TL)**
Hasar Giderme Süresi	3 Ay	33%	218.750.000

NLE Hasar Tutarı	1.192.625.000

Tablo 2.2 İyileştirme Öncesi PML Senaryosu

Tanım:

Birincil Koruma Sistemi çalışmamaktadır ancak yangınla manuel mücadele imkânı mevcuttur.

Senaryo:

Üretim Binası-2'de başlayan bir yangın senaryosu esas alınmıştır. Bu senaryoda yangına müdahale sistemlerinin aktif olarak çalışmadığı ancak acil durum ekiplerinin ve kamu itfaiyelerinin olaya hızlı ve erken müdahale edebileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Yangının başlamasının ardından tesisin yangın sistemleriyle olaya müdahale edilememesi, yalnızca yangın tüplerinin aktif söndürmede rol alması nedeniyle yangının kontrol altına alınamayacağı öngörülmüştür. Proseste doğalgazın da bir girdi olarak kullanılması nedeniyle hızlıca çalışanların binadan tahliyesinin ardından yangının Üretim Binası-2'nin tamamına yayılması beklenmektedir. Bina dışından tesisin acil durum ekiplerinin müdahalesi ile yangının diğer üretim binalarına sirayet etmesi beklenmemektedir. Kamu itfaiyelerinin de tesise varmasıyla birlikte yangının yalnızca Üretim Binası-2 işletmesiyle sınırlı kalarak kontrol altına alınması beklenmektedir. Her ne kadar diğer binalara yangın sıçramasa da Üretim Binası-2'nin tamamen hasarlanarak olayın sonuçlanması beklenmektedir.

Yaşanılan olayın neticesinde Üretim Binası-2'nin bir süre kullanılamayacak olması nedeniyle bu binada üretimin yapılamayacağı ve iş durmasına bağlı kar kaybı yaşanması beklenmektedir. Sonuç olarak tesis üretiminin yaklaşık üçte birinin 12 aylık duruş yaşaması öngörülmüştür.

Varsayımlar:

Sabit Kıymet hasarı aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır:

- Yeterli manuel acil müdahale mümkündür.
- Değerlendirilen tesisin tehlikelerine müdahale etmek üzere eğitilmiş bir müdahale organizasyonu ekibi olduğu kabul edilir.
- Olay bildirildikten sonra makul bir sürede acil durum ekipleri sahaya ulaşarak etkin bir şekilde hasarı azaltmak veya sınırlamak için müdahalede bulunur.
- Tesise ait güncel ön planlar veya acil müdahale planları mevcuttur.

***İlave maliyetler toplam hasarın %5'i kadar eklenmiştir:

- Artan işçilik

Enkaz kaldırma vb.

Sınırlandırmalar:

- En yüksek PD / BI potansiyeline sahip alanı koruyan yangın koruma sistemi, olayın doğası gereği işlevsiz, devre dışı veya etkisiz hale gelmiştir.
- Komşu yangın koruma sistemlerinin yapısal arıza nedeniyle devre dışı veya etkisiz kalmadığı sürece çalışır durumda olduğu varsayılır. Özel söndürme sistemlerinin kullanımı için de aynı durum geçerlidir.
- Yanıcı yükün hafif ila normal olduğu, yapısal arızanın beklenmediği ve çatı montajının listelenmiş veya onaylanmış yanmaz malzeme olduğu durumlarda, yangın kapıları ve yangın geçişleri dahil olmak üzere asgari yeterli bakım yapılmış 3 saat dayanımlı duvarlara kredi verilir.
- Yanıcı çatı konstrüksiyonu (yanıcı veya bilinmeyen metal döşeme montajları dahil) bitişik yapı kaybına yol açar.

Hasar, işlevsiz koruma sisteminin bulunduğu alan ve yakın çevresi ile sınırlı kalabilir veya saha koşullarına bağlı olarak en yakın yeterli ayrım veya uygun şekilde tasarlanmış ve onaylanmış yapı kesme noktalarına kadar genişleyebilir.

Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Sabit Kıymet Hasarı (TL)**
Bina(lar)	5.000.000.000	10%	500.000.000
Makine & Ekipman	12.500.000.000	10%	1.250.000.000
Emtia	1.750.000.000	5%	87.500.000
***İlave Maliyetler	1.837.500.000	5%	91.875.000
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			1.929.375.000

İş Durması	Süre	%Etkilenen	İş Durması Hasarı (TL)
Hasar Giderme Süresi	12 Ay	33%	656.250.000
PML Hasar Tutarı			2.585.625.000

Tablo 2.3 Mevcut Durum MFL Senaryosu

Tanım:
Yangına müdahale sistemleri çalışmamakta ve yangına manuel olarak müdahale de mümkün değildir.
Senaryo:
Üretim Binası-2'de başlayan bir yangının söndürme sisteminin pasif olması nedeniyle hızlı bir şekilde tüm üretim alanına yayılması beklenmektedir. Yangının hızlıca Üretim Binası-2'nin tamamına yayılmasında tesisin acil durum ekiplerinin manuel müdahalesinin mümkün olmaması ve aynı zamanda bölge kamu itfaiyelerinin de olaya müdahale edememesi etkilidir. Üretim Binası-2'de başlayan ve bütün binaya hızlıca yayılan yangının aynı zamanda yaklaşık 15 metrelik mesafelerde konumlanmalarına karşın ara geçiş koridorlarıyla birbirine bağlanan Üretim Binası-1 ve Üretim Binası-3 binalarına da sirayet etmesi beklenmektedir. Bu duruma geçiş koridorlarının yangın bölümlendirmesi sağlamamasının yanı sıra binalarda kullanılan yapı malzemelerinin de sebebiyet vereceği öngörülmektedir. Tesis binalarının çatılarında poliüretan (PUR) dolgulu alüminyum sandviç panel çatı örtüsü kullanılmış olup bu malzemelerin yangını sınırlandırma özelliği olmamasının yanı sıra ayrıca ısı transferinin etkisiyle çatı örtüleri de tutuşarak yangının diğer binalarda da yayılmasına sebebiyet vermesi öngörülmüştür. Ayrıca üretimde proses girdisi olarak doğalgaz kullanımı söz konusu olup meydana gelen yangından dolayı doğalgaz hattı da takrip olarak ortama yanıcı ve patlayıcı etkiye sahip doğalgazın da sirayet ederek yangının yayılmasında etkili olacağı öngörülmektedir. Tesisin üretimi açısından kritik olan bu 3 üretim binasında yaşanan yangın binaların, bu kısımdaki makine-ekipman ve demirbaşla birlikte yarı mamul ve hammaddelerin de hasarlanmasına sebebiyet verecektir. Tesisin 2 üretim binasının yanı sıra bu binalara yakın olarak konumlanan Atölye, Ambar, Sosyal Tesis ve tesise elektrik enerjisinin dağıtımının yapıldığı orta gerilim elektrik dağıtım sisteminin bulunduğu Yardımcı İşletmeler binalarının da yangından dolayı zarar görmesi beklenmektedir. Meydana gelen yangın hadisesinin sonucunda oluşacak maddi hasarın yanı sıra ayrıca işletmenin üretiminin de kesintiye uğraması beklenmektedir. Üretim tesisinin ve özellikle elektrik enerjisi temini açısından kritik olan yardımcı işletmeler kısımlarının yeniden devreye alınacağı süreye kadar tesisin üretim ve satış yapamaması beklenmektedir. Bu durum nedeniyle tesis için en az 24 aylık iş durması yaşanması beklenmektedir.
Varsayımlar:

Sabit Kıymet hasarı aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır:

- Olay, hafta sonu gece yarısından sonra, personel sayısının az olduğu ve alan denetiminin en düşük seviyede olduğu zamanda meydana gelir.
- Statik yüklenme/boşalma kaynaklı tutuşma ve patlama.
- Tesis acil durum ekipleri ve en yakın itfaiye biriminden dış yardım talep edilmiştir, ancak en yakın itfaiyenin müdahale gecikmesi nedeniyle.
- Tüm yangın pompaları çalışmaz.
- Ya da yangın pompaları çalışabilir, ancak yangına müdahaledeki gecikme nedeniyle yangın o kadar şiddetlenmiştir ki, acil müdahale ekibi / güvenlik tarafından dış hidrant kullanılarak yangını söndürme girişimi başarısız olur.
- En yakın itfaiye biriminden dış yardım talep edilmiştir, ancak müdahale gecikmesi nedeniyle tesise ulaşmaları 15 dakikadan fazla sürebilir. Bu süre zarfında bina ve içeriğinde çoğu hasar meydana gelmiştir.
- Yangın, yanıcı malzeme kalmadığında veya bina ve binada bulunan tüm sabit kıymetlerde geri dönüşü olmayan hasar oluşturduğunda sona erer.
- Bina yapıları, yoğun ısıya maruz kalma nedeniyle muhtemelen çöker ve bu da bina ve içinde bulunan sabit kıymetlerde ek hasara yol açar.
- MFL senaryosu kapsamında nihai sonuç, bina ve binada bulunan sabit kıymetin tamamen kaybı olacaktır.

İlave maliyetler toplam hasarın %5'i kadar eklenmiştir:

- Artan İşçilik Maliyeti

Enkaz kaldırma vb.

Sınırlandırmalar:

- Tesisin veya sahadaki tüm yangın koruma sistemleri işlevsiz durumdadır.
- Manuel acil müdahale için kredi verilmez.
- Hasar, yalnızca yeterli ayrım ve/veya bağımsız 4 saat dayanımlı yangın duvarları veya eşdeğerleri ile sınırlandırılır. (Eşdeğerlikler iyi tanımlanmalı ve kanıtlanmalıdır.)
- Yanıcı çatı konstrüksiyonu (yanıcı veya bilinmeyen metal döşeme montajları dahil) bitişik yapı kaybına yol açar.

Bu kaybın büyüklüğü, saha düzenine bağlı olarak, orijinal binaların veya tüm tesisin değerine yaklaşabilir.

Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Hasar Tutarı (TL)**
Binalar	5.000.000.000	45%	2.250.000.000
Makine & Ekipman	4.375.000.000	4.375.000.000	4.375.000.000
Emtia	525.000.000	525.000.000	525.000.000
***İlave Maliyetler	357.500.000	357.500.000	357.500.000
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			7.507.500.000

İş Durması	**Süre**	**%Etkilenen**	**İş Durması Hasarı (TL)**
Hasar Giderme Süresi	24 Ay	100%	5.250.000.000

MFL Hasar Tutarı	12.757.500.000

Tablo 2.4 İyileştirme Önerileri Öncesi Hasar Senaryoları Özeti

Senaryo	NLE (p = 0,8)	PML (p = 0,15)	MFL (p = 0,05)
Sabit Kıymet Hasarı	973.875.000	1.929.375.000	7.507.500.000
İş Durması Hasarı	218.750.000	656.250.000	5.250.000.000
Toplam Hasar	1.192.625.000	2.585.625.000	12.757.500.000

2.2 Pasif Yangın Koruması Kapsamında MFL Sınırlandırma Önerileri

Hasar senaryo analizlerinde hasar boyutunun sınırlandırılması yangın koruma sistemlerinin, müdahale kapasitelerinin ve pasif yapısal engellerin bir arada işleyişine dayandırılmaktadır. Bununla birlikte, aktif söndürme sistemlerinin ve acil müdahale ekiplerinin işlevsiz olduğu Tahmin Edilen En Büyük Hasar (MFL) senaryolarında sınırlandırma potansiyeli, yalnızca pasif yapısal önlemlerle değerlendirilebilir. Bu çalışmada ele alınan senaryo kapsamında tüm yangın pompaları ve söndürme sistemlerinin devre dışı, harici itfaiye müdahale gecikmesinin 15 dakikayı aşması ve yangına manuel müdahale imkanının bulunmadığı varsayımından yola çıkarak münhasıran yapısal ve mimari bileşenler üzerinden hasar sınırlandırma alternatifleri yürütülmüştür.

FM Global'in temel sigortalama ilkesi doğrultusunda, sınırlandırmanın sigorta primini etkileyebilmesi için uygulanacak önlemlerin bağımsız ve kanıtlanabilir nitelikte olması zorunludur (FM Global DS 1-2). Bu gereklilik, çalışmada önerilen her unsurun uluslararası test standartlarına (ASTM E119, EN 13501-1) dayalı sertifikasyon kapsamında değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yangın dayanım süresi bakımından, FM Global teknik föyü [9] söndürme sistemleri güvenilmez veya devre dışı olan tesislerde yangın duvarları için minimum 4 saatlik (F240) dayanım şartını öngörmektedir. NFPA ise sprinkler korumasının bulunmadığı yüksek riskli sanayi yapılarını «High Challenge Fire Wall» kategorisinde sınıflandırarak bu kategori için de F240 zorunluluğunu açıkça düzenlemektedir [25]. İncelenen senaryoda söndürme sistemlerinin tamamı işlevsiz olduğundan, daha düşük dayanım değerlendirmelerine (F60, F90, F120) sahip yangın duvarlarının sınırlandırma kredisine esas alınması mümkün değildir; bu çalışmada önerilen tüm bölümlendirme elemanları F240 şartı esas alınarak tasarlanmıştır.

İncelenen tesis, her biri yaklaşık 10.000 m² taban alanına sahip üç üretim binasından) ve çeşitli yardımcı yapılardan oluşmaktadır. Binalar, 15 metrelik mesafelere rağmen yangın bölümlendirmesi sağlamayan geçiş koridorları aracılığıyla birbirine bağlanmaktadır. Tesis çatılarında poliüretan (PUR) dolgulu alüminyum sandviç panel kullanılmakta olup söz konusu malzeme, FM Global'in 1-57 numaralı teknik föyü [9] ve NFPA 221 standardının [25] kapsamındaki "yanıcı çatı konstrüksiyonu" tanımına girmektedir. Üretim sürecinde doğalgaz kullanımı ek patlama riskini beraberinde getirmekte, yardımcı işletmeler, ambar ve atölye binaları ise orta gerilim elektrik dağıtım sistemiyle birlikte yangının birincil tehdit alanına yakın konumlanmaktadır.

2.2.1 Binalar Arası Yangın Bölümlendirmesi: Koridor Yangın Duvarları

Mevcut senaryoda bina-bina yangın transferinin birincil fiziksel yolu, yangın bölümlendirmesi sağlamayan geçiş koridorlarıdır. Bu zafiyetin giderilmesi amacıyla her koridorun her iki ucuna —binaların koridora açıldığı bağlantı noktalarında— bağımsız, monolitik betonarme yangın duvarı inşa edilmesi önerilmektedir. Duvarların minimum 300 mm kalınlığında ve F240 yangın dayanım değerlendirmesine sahip olması gerekmektedir. Çatı örtüsünün en az 1,5 m üstüne uzanarak parapet oluşturulması zorunludur; bu gereklilik, ısı radyasyonu ve alev sirayet yoluyla çatı düzeyindeki binalar arası geçişin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

FM Global [7], yangın duvarı güvenilirliğinin doğrudan açıklıkların korunma kalitesine bağlı olduğunu belirterek tüm servis penetrasyonlarının yangın dayanımıyla eşleşen yangın durdurucu sistemiyle kapatılmasını

ve hava transferi açıklıklarına otomatik damper yerleştirilmesini şart koşmaktadır. Dayanım değerlendirmesi ASTM E119 veya eşdeğer bağımsız laboratuvar testi esas alınarak FM Global'in 1-21 numaralı teknik föyü kapsamında belgelenmelidir [6]. NFPA 221, yangın duvarlarının komşu yapının çökmesi halinde dahi yapısal bütünlüğünü koruyacak şekilde — yük taşımayan — tasarlanmasını ve parapetin çatı düzeyinin en az 0,9 m (3 ft) üstünde konumlandırılmasını zorunlu kılmaktadır [25]. Koridor açıklıklarına yerleştirilecek yangın kapılarının F240 dayanım değerlendirmesine sahip, NFPA 252 uyumlu bağımsız test sertifikası almış olması ve NFPA 80'in öngördüğü mekanik kapan donanımıyla (üstten montajlı kapı kapatıcı, yay menteşe veya yer tipi kapı kapatıcı) donatılması gerekmektedir; bu yaklaşım, aktif elektrik gerektirmeyen pasif bir kapatma mekanizması sağlaması bakımından senaryo kısıtlarıyla örtüşmektedir [25].

2.2.2 Yanıcı Çatı Konstrüksiyonunun İkamesi

FM Global'in 1-57 numaralı teknik föyü, poliüretanın yaklaşık 230°C'de termal bozunmaya uğradığını ve 315–370°C arasında tutuştuğunu belgeleyerek FM onaysız PUR panellerin ciddi yangın tehlikesi oluşturduğunu kayıt altına almaktadır [9]. Yanıcı olmayan malzemelerin her koşulda tercih edilmesi gerektiği ilkesi çerçevesinde, mevcut PUR dolgulu alüminyum sandviç çatı örtülerinin tüm üretim binaları ve koridorlarda mineral yün (taş yünü/kaya yünü) dolgulu, EN 13501-1 kapsamında en az A2-s1,d0 sınıfında sertifikalı panellerle değiştirilmesi zorunludur. Dolgu yoğunluğunun ≥ 110 kg/m³ olması, saçak ve çatı-cephe birleşim detaylarında ise yangın sınıfı silikon veya mineral yün blok uygulamasıyla sirayet yollarının kapatılması öngörülmektedir [9].

FM Global'in 1-57 numaralı teknik föyü, sprinklersiz tesislerde termal bariyer (Portland çimento sıvası veya alçı levha) uygulamasını alternatif olarak sunmakla birlikte, bu önlemlerin aktif söndürme sisteminin işlevini ikame edemeyeceğini açıkça belirtmektedir [9]. İncelenen senaryoda söndürme sistemleri devre dışı olduğundan termal bariyer uygulaması yeterli koruma sağlamamakta, tam panel değişimi tek geçerli çözüm olarak öne çıkmaktadır. FM Approval Standard 4880 kapsamında, kullanılacak panellerin FM Onaylı Class 1 yanma performansına sahip olması ya da FM onaylı yanıcı olmayan iç dolgu içermesi gerekmektedir [9].

2.2.3 Bina İçi Yangın Bölümlendirmesi

Her üretim binasının tek bir açık yangın kompartımanı olarak işlev görmesi, bina içindeki yangın yayılma hızını azami düzeyde tutmakta ve toplam hasar büyüklüğü üzerinde belirleyici bir etki yaratmaktadır. FM Global her üretim binasının bölümlendirme duvarlarıyla yaklaşık 5.000 m²'lik kompartımanlara ayrılmasını önermektedir [5]; söndürme sistemlerinin tamamen devre dışı olduğu bu senaryo koşullarında bu büyüklük üst sınır olarak alınmalıdır. Her bina için 2 adet bölümlendirme duvarı öngörülmüş olup 10.000 m² taban alanı ve 10 m net yüksekliği esas alındığında bina başına 2.000 m², üç binada toplam 6.000 m² duvar alanı hesaplanmaktadır.

Bölümlendirme duvarları zeminden çatı örtüsünün alt yüzeyine tam temas sağlayacak şekilde, minimum 300 mm kalınlığında betonarme olarak inşa edilmeli ve F240 dayanım değerlendirmesini karşılamalıdır. NFPA 221 kapsamında yangın duvarı (fire barrier wall) olarak sınıflandırılan bu elemanlar için aktif söndürme sisteminin bulunmadığı durumlarda 4 saatlik dayanım tercihli gereklilik olarak değerlendirilmeli, penetrasyonların IBC Bölüm 717 ile uyumlu biçimde korunması zorunlu tutulmalıdır [25]. Üretim akışı açı-

sından zorunlu geçiş açıklıklarına F240 sertifikalı yangın kapısı ve mekanik kapan mekanizması entegre edilmelidir. Piyasada F240 sertifikalı yangın kapısı imalatının yaygın bulunmaması nedeniyle bu uygulamanın özel sipariş üzerine yapılabildiği piyasaca bilinmekte olup maliyet hesaplamasında bu durum ortalama F120 kapıların yaklaşık 2 katı esas alınarak aşılmıştır.

2.2.4 Dış Cephe Koruması

Yerleşim planı incelendiğinde, yardımcı işletmeler binası ve ambar gibi kritik yapıların üretim binalarına yakın konumlandığı görülmektedir. FM Global, maruz kalan cephelerde ısı radyasyonu ve alev temasına karşı korumanın sağlanmasını, açıklıkların korunmalı hale getirilmesini ve cephe yangın direncinin ilgili bölümlendirme duvarı değerlendirmesiyle eşleştirilmesini önermektedir [11]. Bu çalışmada bölümlendirme duvarları F240 olarak tasarlandığından, FM Global'in bölümlendirme duvarıyla eşleşen dayanım gerekliliği doğrultusunda cephe korumasının da EI240 (hem bütünlük hem yalıtım, 240 dakika) seviyesinde sağlanması zorunludur [5].

Bu doğrultuda, üretim binalarının yardımcı yapılara bakan iki cephesi toplamda 2.000 m² olarak hesaplanmış; bu alanın yaklaşık %15'ini oluşturan 300 m²'lik pencere ve kapı açıklıklarının EI240 uyumlu dolgu sistemiyle kapatılması, kalan 1.700 m²'lik yüzeyde EI240 sertifikalı cephe kaplama sistemi uygulanması önerilmektedir. NFPA 221, yangın duvarlarının dış cepheye en az 46 cm (18 inç) taşması ya da dış cephenin yangın bölümlendirmesini devraldığı detayın sağlanması gerektiğini öngörmektedir [25]. EI240 cephe sistemleri Türkiye piyasasında standart stok ürün niteliği taşımamakta, özel tasarım ve imalat gerektirmektedir; bu durum birim maliyetleri EI60 muadillerine göre yaklaşık 2,5–3 kat yükseltmektedir.

2.2.5 Yapısal Çeliğin Yangın Koruması

Yangın duvarlarına komşu aşık ve makas sistemleri gibi çatı çelik taşıyıcıları yüksek ısı maruziyetinde yapısal kararlılığını yitirerek çökebilmekte; bu durum hem bina içi hasarı artırmakta hem de yangın duvarı bütünlüğünü tehdit etmektedir. FM Global DS 1-2, yangın duvarının komşu yapı bileşenlerinin çökmesi halinde dahi bağımsız biçimde ayakta kalabilecek (self-supporting) şekilde tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. NFPA 221, yüksek zorluklu yangın duvarı (high challenge fire wall) tanımı kapsamında duvara yakın yapısal elemanların çökmesinin duvar kararlılığını tehlikeye atmaması için gerekli yapısal önlemlerin alınmasını öngörmektedir [25]. Bu gerekliliklerin karşılanması amacıyla, yangın duvarı ekseninden yaklaşık 5 m mesafedeki çatı çelik taşıyıcılarına EN 13381-8 sertifikalı intümesant boya uygulanması ve minimum F240 dayanımın sağlanması önerilmektedir. Toplam korunan çelik yüzey alanı, taban alanı başına 0,30 m²/m² çelik yüzey katsayısı ve her iki yanda 5 m koruma şeridi esas alınarak 1.848 m² olarak hesaplanmıştır.

2.3 İyileştirme Önerilerinin Maliyet Analizi

Önerilen yapısal önlemlere ilişkin maliyet analizi, 2026 yılı Türkiye inşaat piyasası birim fiyatları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Metraj tahminleri yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Tablo 2.5'te her öneri kalemine ait alt ve üst maliyet sınırları ile toplam yatırım tutarı sunulmaktadır.

Tablo 2.5 Yapısal MFL Sınırlandırma Önlemleri Maliyet Özeti

Önlem	Birim	Metraj	Birim Fiyat (TL)	Toplam Alt (TL)	Toplam Üst (TL)
1. Koridor Yangın Duvarları (F240)					
Betonarme yangın duvarı, F240, 300 mm	m²	184	9.500 – 14.000	1.748.000	2.576.000
Yangın kapısı F240, tek kanat (4 adet)	adet	4	35.000 – 55.000	140.000	220.000
Yangın durdurucu, penetrasyonlar (32 nokta)	nokta	32	2.000 – 4.000	64.000	128.000
İşçilik ve şantiye	götürü	—	—	180.000	300.000
Kalem 1 Ara Toplam				**2.132.000**	**3.224.000**
2. Çatı Panel Değişimi (A2-s1,d0)					
Taş yünü sandviç panel, A2-s1,d0	m²	30.400	900 – 1.400	27.360.000	42.560.000
Mevcut PUR panel sökümü ve imhası	m²	30.400	150 – 250	4.560.000	7.600.000
Montaj işçiliği	m²	30.400	200 – 350	6.080.000	10.640.000
İskele ve ulaşım ekipmanı	götürü	—	—	800.000	1.400.000
Kalem 2 Ara Toplam				**38.800.000**	**62.200.000**
3. İç Kompartıman Duvarları (F240)					
Betonarme kompartıman duvarı, F240, 300 mm	m²	6.000	9.500 – 14.000	57.000.000	84.000.000
Yangın kapısı F120, çift kanat (12 adet)	adet	12	22.000 – 35.000	264.000	420.000
Yangın durdurucu, penetrasyonlar (48 nokta)	nokta	48	2.000 – 4.000	96.000	192.000
İşçilik ve şantiye	götürü	—	—	600.000	1.000.000
Kalem 3 Ara Toplam				**57.960.000**	**85.612.000**
4. Cephe Koruması (EI240)					
Açıklık dolgusu, EI240 uyumlu sistem	m²	300	10.000 – 18.000	3.000.000	5.400.000
EI240 cephe kaplama sistemi	m²	1.700	8.000 – 14.000	13.600.000	23.800.000
Cephe birleşim yangın durdurucu	m.k.	200	300 – 500	60.000	100.000
İşçilik ve iskele	götürü	—	—	400.000	700.000
Kalem 4 Ara Toplam				**17.060.000**	**30.000.000**
5. İntümesant Çelik Kaplama (F240)					
Yüzey hazırlığı, kumlama ve astar	m²	1.848	200 – 320	369.600	591.360
İntümesant boya, F240, 3–4 kat	m²	1.848	1.100 – 1.800	2.032.800	3.326.400
İskele / sepet kiralama	götürü	—	—	50.000	100.000
Kalem 5 Ara Toplam				**2.452.400**	**4.017.760**
Ara Toplam (1–5)				**118.404.400**	**185.053.760**
Proje yönetimi, mühendislik, sertifikasyon (%8)				9.472.400	14.804.300
Beklenmedik giderler (%10)				11.840.400	18.505.400
Genel Toplam				**~139.700.000**	**~218.400.000**

Toplam yatırımın yaklaşık %50'sini iç kompartıman duvarları, %34'ünü çatı panel değişimi, %13'ünü ise cephe koruması oluşturmaktadır. Birinci fazda koridor yangın duvarları, cephe koruması ve çelik kaplama

tamamlanarak yaklaşık 22–37 milyon TL yatırımla yapısal bölümlendirmenin temel altyapısı oluşturulabilmekte; ikinci fazda kompartıman duvarları ve çatı panel değişimi gerçekleştirilerek tam MFL sınırlandırma kapsamına ulaşılabilmektedir. Bununla birlikte, PUR çatı konstrüksiyonu ve iç bölümlendirme duvarları mevcut olmadığı sürece sigortacının tam MFL sınırlandırma uygulaması mümkün olmayacaktır.

2.4. İyileştirme Önerileri Sonrası Hasar Senaryoları

Tesise hasar sınırlandırması için sunulan iyileştirme önerilerinin yerine getirilmesi durumunda beklenen hasar tutarları da yine iyileştirme öncesindeki gibi 3 farklı hasar senaryosu üzerinden analiz edilmiştir. Her bir senaryo için iyileştirme öncesinde oluşturulan senaryolardaki aynı tanım, sınırlandırmalar ve varsayımlar esas alınmış olup bu başlık altında tekrarlanmamıştır.

Tesis için oluşturulan birinci seviye Normal Hasar Beklentisine (NLE) konu yangın senaryosu Tablo 2.6'daki gibidir.

Tablo 2.6 İyileştirme Sonrası NLE Senaryosu

Senaryo:			
NLE hasar senaryolarında yangın hadisesinin tesiste kurulu olan yangın önlemleri ve manuel müdahale ile hızlıca kontrol altına alındığı varsayıldığı için Tablo 2.1'deki senaryonun değişmesi beklenmemektedir.			
Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Hasar Tutarı (TL)**
Binalar	5.000.000.000	5%	250.000.000
Makine & Ekipman	12.500.000.000	5%	625.000.000
Emtia	1.750.000.000	3%	52.500.000
***İlave Maliyetler	927.500.000	5%	46.375.000
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			973.875.000
İş Durması	**Süre**	**%Etkilenen**	**İş Durması Hasarı (TL)**
Hasar Giderme Süresi	3 Ay	%33	218.750.000
Toplam NLE Hasar Tutarı			1.192.625.000 TL

Tesis için hazırlanan ikinci seviye Olası Maksimum Hasara (PML) konu yangın senaryosu Tablo 2.7'deki gibidir.

Tablo 2.7 İyileştirme Sonrası PML Senaryosu

Senaryo:			
Tablo 2.2'de sunulan senaryodaki yangın başlangıcı yeniden esas alınmıştır. Yine benzer şekilde yangının Üretim Binası-2 içinde yayılması beklenmektedir. Bununla birlikte, tesis genelinde tamamlanan F240 dayanımlı bina içi kompartıman duvarları yangının Üretim Binası-2'nin tüm alanına yayılmasını sınırlandırmaktadır; yangının büyük olasılıkla başladığı kompartıman ile sınırlı kalması beklenmektedir. Bina dışından tesisin acil durum ekiplerinin müdahalesi ile yangının diğer üretim binalarına sirayet etmesi beklenmemektedir. F240 koridor yangın duvarları ve A2-s1,d0 sertifikalı yanmaz çatı konstrüksiyonu bu güvenceyi pasif olarak pekiştirmektedir. Kamu itfaiyelerinin de tesise varmasıyla birlikte yangının yalnızca Üretim Binası-2'nin ilgili kompartımanıyla sınırlı kalarak kontrol altına alınması beklenmektedir. Her ne kadar diğer binalara yangın sıçramasa da yangın çıkan kompartımanın önemli ölçüde hasarlanarak olayın sonuçlanması beklenmektedir. Yaşanılan olayın neticesinde Üretim Binası-2'nin bir süre kullanılamayacak olması nedeniyle bu binada üretimin yapılamayacağı ve iş durmasına bağlı kâr kaybı yaşanması beklenmektedir. Pasif yangın koruma önlemlerinin hasarı tek bir kompartımanla sınırlandırması ve diğer iki üretim binasının faaliyetini sürdürmesi sayesinde hasar giderme ve yeniden devreye alma sürecinin kısalması öngörülmüştür. Sonuç olarak tesis üretiminin yaklaşık üçte birinin 9 aylık duruş yaşaması öngörülmüştür.		
Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Hasar Tutarı (TL)**
Binalar	5.000.000.000	5%	250.000.000
Makine & Ekipman	12.500.000.000	5%	625.000.000
Emtia	1.750.000.000	2,5%	43.750.000
***İlave Maliyetler	918.750.000	5%	45.937.500
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			964.688.000
İş Durması	**Süre**	**%Etkilenen**	**İş Durması Hasarı (TL)**
Hasar Giderme Süresi	9 Ay	33%	656.250.000
Toplam PML Hasar Tutarı			1.620.938.000 TL

Tesis için hazırlanan üçüncü seviye Tahmin Edilen En Büyük Hasara (MFL) konu yangın senaryosu Tablo 2.8'deki gibidir.

Tablo 2.8 İyileştirme Sonrası MFL Senaryosu

Senaryo:			
Üretim Binası-2›de başlayan bir yangının söndürme sisteminin pasif olması nedeniyle hızlı bir şekilde ilgili kompartımana yayılması beklenmektedir. Tesisin acil durum ekiplerinin manuel müdahalesinin mümkün olmaması ve bölge kamu itfaiyelerinin de olaya müdahale edememesi nedeniyle yangın başladığı kompartımanda kontrol altına alınamamaktadır. Üretim Binası-2›de başlayan yangının bütün binaya yayılması, tesis genelinde tamamlanan F240 dayanımlı bina içi kompartıman duvarları tarafından sınırlandırılmaktadır; yangının büyük olasılıkla başladığı kompartıman ve yakın çevresiyle sınırlı kalması beklenmektedir. Geçiş koridorlarına inşa edilen F240 dayanımlı bağımsız yangın duvarları, yangının Üretim Binası-1 ve Üretim Binası-3›e sirayet etmesini pasif olarak engellemektedir. Tesis çatılarında A2-s1,d0 sınıfı yanmaz sandviç panel kullanılmakta olup ısı transferi yoluyla çatı örtüsünün tutuşması ve yangının bitişik binalara yayılması riski ortadan kalkmıştır. Üretimde proses girdisi olarak doğalgaz kullanımı söz konusu olmaya devam etmekte; doğalgaz hattının yangın alanına yakınlığı nedeniyle bina içi hasar şiddetini artırabilecek bir risk unsuru olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, doğalgazın diğer binalara veya yardımcı işletmeler kısmına yayılma riski yapısal bölümlendirme önlemleri tarafından sınırlandırılmaktadır. Yangın, yalnızca Üretim Binası-2'nin ilgili kompartımanındaki bina yapısını, makine-ekipmanı ve emtiayı etkiliyor olmakla birlikte kompartıman içinde geri dönüşü olmayan hasara yol açmaktadır. EI240 cephe koruması sayesinde Atölye, Ambar, Sosyal Tesis ve tesise elektrik enerjisi dağıtımını sağlayan Yardımcı İşletmeler binasının yangından etkilenmesi beklenmemektedir. Meydana gelen yangın hadisesinin sonucunda Üretim Binası-2'nin ilgili kompartımanının kullanılamaz hale gelmesi nedeniyle bu binada üretimin kesintiye uğraması beklenmektedir. Yardımcı İşletmeler binasının ve diğer iki üretim binasının faaliyetini sürdürmesi, tesisin kısmi üretim kapasitesini korumasını sağlamaktadır. Bu durum nedeniyle tesis üretiminin yaklaşık üçte birinin 18 aylık iş durması yaşaması beklenmektedir.			
Sabit Kıymet Hasarı	**Bedel (TL)**	**% Hasar**	**Hasar Tutarı (TL)**
Binalar	5.000.000.000	15%	750.000.000
Makine & Ekipman	12.500.000.000	12%	1.500.000.000
Emtia	1.750.000.000	10%	175.000.000
***İlave Maliyetler	2.425.000.000	5%	121.250.000
Toplam Sabit Kıymet Hasarı			2.546.250.000
İş Durması	**Süre**	**%Etkilenen**	**İş Durması Hasarı (TL)**
Hasar Giderme Süresi	18 Ay	33%	1.312.500.000
Toplam MFL Hasar Tutarı			3.858.750.000 TL

Tesis için belirlenen iyileştirme önerilerinin gerçekleştirilmesinin ardından oluşturulan yeni hasar senaryolarının özeti Tablo 2.9'daki gibidir

Tablo 2.9 İyileştirme Önerileri Sonrası Hasar Senaryoları Özeti

Senaryo	NLE (p = 0,8)	PML (p = 0,18)	MFL (p = 0,02)
Sabit Kıymet Hasarı	973.875.000	964.688.000	2.546.250.000
İş Durması Hasarı	218.750.000	656.250.000	1.312.500.000
Toplam Hasar	1.192.625.000	1.620.938.000	3.858.750.000

2.5 Yangın Risk Primi Hesaplama

Yangın risk primi, söz konusu sabit kıymetin sigortalandığı poliçe dönemi boyunca beklenen hasar maliyetini karşılamak üzere hesaplanan net tutardır. Bu tutar güvenlik marjı, operasyonel giderler ve kâr payı gibi kalemler hariç, yalnızca beklenen hasarı temsil eder.

Senaryo olasılıkları, yangın koruma sistemlerinin çalışma güvenilirliğine ilişkin istatistiksel verilerden hareketle mühendislik değerlendirmesiyle belirlenmiştir. NFPA, yeterli büyüklükteki yangınlarda sprinkler sistemlerinin %95 oranında devreye girdiğini ve etkin çalıştığını ortaya koymakta; bu bulgu aktif koruma sistemlerinin tam işlevsel olduğu NLE senaryosunun en yüksek olasılıkla gerçekleşen durum olduğunu desteklemektedir [24]. Kısmi sistem başarısızlığı ve gecikmiş müdahaleyi temsil eden PML senaryosu, sprinkler başarısızlıklarının başlıca nedenleri arasında yer alan sistem kapatması (%52) ve bakım eksikliğine (%21) ilişkin istatistiklerle desteklenmektedir [24]. Tüm aktif koruma sistemlerinin devre dışı kaldığı ve harici müdahalenin gerçekleşemediği MFL senaryosu ise düşük frekans-yüksek şiddet karakterine sahip olup en düşük olasılıkla gerçekleşen durum olarak konumlandırılmaktadır [17].

Bu çalışmada risk primi, yıllık yangın frekansının uzman görüşüne dayalı olarak hesaplanmış senaryoların beklenen hasar büyüklüğü ile çarpımından elde edilir. Frekans bileşeni Poisson süreci ile, hasar büyüklüğü bileşeni ise üç senaryolu olasılık kütle fonksiyonu ile modellenir.

Yıllık yangın frekansı beklenen değer parametresidir ve Eşitlik-1'de belirtildiği üzere sıfırdan büyük olma koşulu taşımaktadır. NLE, PML ve MFL senaryolarının hesaplanan maliyetleri , , , yangın çıktıktan sonra senaryoların gerçekleşme olasılıkları , , ile tanımlanmıştır.

Yangın meydana geldikten sonra oluşturulan senaryolara göre beklenen yıllık hasar miktarı Eşitlik-3 esas alınarak Eşitlik-6'daki gibi hesaplanmıştır.

$$E[S] = p_1.S_1 + p_2.S_2 + p_3.S_3 \quad (6)$$

Yangın çıkma olasılığı , tesisin sektörel özellikleri ve maruz kalma koşulları gözetilerek 0,05 olarak belirlenmiştir. Bu değer, NFPA'nın imalat tesislerine ilişkin istatistiksel verilerinden elde edilen yıllık yangın frekansı aralığıyla uyumludur; NFPA, ABD imalat sektöründe 2018–2022 döneminde yılda ortalama 9.291 yangın raporlandığını ortaya koymakta ve bu değer büyük ölçekli tesisler için yaklaşık %3–5 yıllık yangın frekansına karşılık gelmektedir [23]. Hasar senaryolarının olasılıkları ise ise , , olarak kabul edilmiştir.

Buna göre işletme için belirlenen öneriler yapılmadan oluşan yangın risk primi Eşitlik-4 esas alınarak Eşitlik-7'deki gibi hesaplanmıştır.

$$E[L_{Önce}] = 0{,}05\ [(0{,}8 * 1.192.625.000) + (0{,}15 * 2.585.625.000) + (0{,}05 * 12.757.500.000)] = \mathbf{98.990.938} \quad (7)$$

İşletme için önerilen iyileştirme yatırımları yapıldıktan sonra tesiste yaşanacak bir yangın olayının farklı boyutlarda işletmeyi etkileyeceği öngörülmüştür. Bu doğrultuda iyileştirme öncesinde kabul edilen , , hasar senaryo olasılıkları iyileştirmeler sonrası için , , olarak kabul edilmiştir. Yapılacak iyileştirmeler aktif yangın

müdahale sistemlerinden ziyade pasif yangın koruma önlemleri olduğu için NLE hasar senaryosunun gerçekleşme ihtimali beklenmemektedir. Ancak alınan pasif yangın önlemlerinden sonra MFL senaryosunun gerçekleşme ihtimalinin daha düşük olması ve PML senaryolarının daha çok karşılaşılması beklenmektedir. Bu doğrultuda öneri sonrası hesaplanan yangın risk primi Eşitlik-8'deki gibidir.

$$E[L_{Sonra}] = 0{,}05\ [(0{,}8 * \ 1.192.625.000) + (0{,}15 * 1.620.938.000) + (0{,}05 * 3.858.750.000)] = \mathbf{66.152.192} \quad (8)$$

Örnek tesis için hesaplanan yangın risk primi yaklaşık olarak hesaplanmış olup sigortacılık piyasasında düzenleyici ve denetleyici kuruluşların düzenlemeleri ve piyasa rekabet şartları gereği sigorta ve reasürans şirketine göre değişkenlik gösterebilecektir.

İşletme için hesaplanan yangın risk primlerinin iyileştirme önerisi gerçekleştirme maliyetiyle kıyaslaması Tablo 2.10'da gösterilmiştir. Bu tabloda yer alan yangın risk primi ile iyileştirme maliyetlerinin kıyaslama işleminden de görüleceği üzere farklı PML senaryosu için %25 ve MFL senaryosu için %88 oranında yangın riskinin azalması söz konusudur. NLE senaryosu riskine pasif yangın koruma önleminin etki etmemesi nedeniyle bu senaryo için bir risk iyileşmesi de beklenmemektedir. Risk primi hesaplama metodolojisinde anlatıldığı üzere bu üç senaryonun tek bir risk primi hesaplamasında kullanıldığı durumda ise %33 gibi bir oranda yapılan iyileştirme önerileriyle yangın riskinin işletme için azaltılması mümkündür. Bu risk azaltma önerilerinin işletmeler açısından finansal yükü yüksek olmakla birlikte tesisin riskinin devri için ödenen primlerden tasarruf edilerek iyileştirme maliyetlerinin de yaklaşık 4,3-6,6 yıl gibi bir süre zarfı içinde geri dönüşünün mümkün olduğu anlaşılmıştır. İyileştirme önerilerinin maliyetleri piyasa ortalama fiyatlarıyla Tablo-2.5'teki gibi yaklaşık olarak hesaplanmış olup ortalama 139,7M TL ile 218,4M TL arasında olması beklenmektedir. Yapılan iyileştirme yatırımları risk primi ile kıyaslandığında gerçekleşme olasılığı NLE ve PML gibi daha yüksek senaryoların sonuçlarının riskinin azaltılmasında her ne kadar anlamlı olmasa da gerçekleşmesi durumunda işletmede yaratacağı maddi kaybın büyük olduğu MFL senaryosunda 5-8 yıl gibi bir zaman aralığında iyileştirme yatırımının risk primi ile karşılanması mümkün görülmektedir. Maliyetlerle yapılan kıyaslama her 3 senaryoyla bütünleşik olarak hesaplanan risk primine oranla da 4,3-6,6 yıl içerisinde geri dönüşünün mümkün olabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 2.10 Prim-Maliyet Kıyaslaması

	NLE	PML	MFL	**Sonuç**
	47.705.000	19.392.188	31.893.750	**98.990.938**
	47.705.000	14.588.442	3.858.750	**68.743.442**
Prim Farkı	0	4.803.746	28.035.000	**30.247.496**
Risk Azaltımı	0%	25%	88%	**31%**
İyileştirme Yatırımı Geri Dönüşü 1.Alternatif Maliyet (139,7M)	-	29,1 Yıl	5 Yıl	**4,3 Yıl**
İyileştirme Yatırımı Geri Dönüşü 2.Alternatif Maliyet (218,4M)	-	45,5 Yıl	7,8 Yıl	**6,6 Yıl**

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir petrokimya esaslı endüstriyel tesisin sabit kıymet risk yönetimi çerçevesinde yürütülen risk minimizasyonu çalışmalarının yangın sigortacılığına yansıyan finansal katkıları NLE, PML ve MFL senaryo yöntemleriyle modellenmiş ve elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

Sabit kıymet risk yönetimi çalışmalarının sigorta transfer süreçleriyle entegre yürütülmesi, endüstriyel tesisler için hem sürdürülebilir dayanıklılık hem de ölçülebilir finansal tasarruf sağlamaktadır. Bu çalışma, risk mühendisliği bulgularının sigorta primini ve poliçe limit yapısını doğrudan etkileyebildiğini ve bu etkinin iyileştirme yatırımının maliyetini kısa sürede karşılayabilecek düzeyde anlamlı olduğunu sayısal olarak göstermektedir. Risk minimizasyonunu yalnızca teknik bir gereklilik olarak değil, aynı zamanda finansal bir fırsat olarak değerlendiren kurumsal bir yaklaşımın benimsenmesi, endüstriyel tesislerin hem operasyonel sürdürülebilirliğine hem de sigorta programlarının ekonomik verimliliğine katkı sunacaktır.

Pasif yangın koruması kapsamında önerilen yapısal iyileştirmeler hayata geçirildiğinde, bireysel senaryo bazında risk azaltma oranları PML için %25 ve MFL için %88 olarak hesaplanmıştır. Bu oranlar, pasif koruma önlemlerinin hasar büyüklüğünü doğrudan sınırlama kapasitesini ve en kritik senaryo olan tam sistemsizlik koşullarında (MFL) etkisinin en yüksek düzeye ulaştığını açıkça ortaya koymaktadır.

Üç senaryonun birlikte değerlendirildiği bütünleşik risk primi hesaplamasında, önerilen iyileştirmelerin gerçekleştirilmesiyle toplam yangın risk priminde yaklaşık %33 oranında azalma sağlanabileceği gösterilmiştir. Bu sonuç; pasif yangın koruma yatırımlarının yalnızca mühendislik güvenliği değil, risk transferinin finansal maliyeti üzerinde de somut ve ölçülebilir bir etki yarattığını doğrulamaktadır.

Önerilen yapısal iyileştirmelerin toplam maliyeti, 2026 yılı Türkiye inşaat piyasası birim fiyatları esas alınarak 139,7 milyon TL ile 218,4 milyon TL arasında tahmin edilmiştir. Tasarruf edilen yıllık yangın risk primiyle kıyaslandığında bu yatırım tutarının yaklaşık 4,3–6,6 yıl içinde telafi edilebileceği görülmektedir. Bu bulgu, risk minimizasyonunun salt güvenlik perspektifinin ötesinde, sigorta programının finansal optimizasyonu açısından da rasyonel ve kısa vadede geri dönüşü olan bir yatırım aracı niteliği taşıdığına işaret etmektedir.

Çalışma, ISO 31000 metodolojisi çerçevesinde yürütülen risk değerlendirme ve azaltma süreçlerinin doğrudan sigorta poliçesi limit yapısına ve prim hesaplamasına entegre edilebileceğini somut bir örnek üzerinden ortaya koymaktadır. NLE–PML–MFL hiyerarşisinin MECE (birbirini dışlayan ve kapsamlı) senaryo çerçevesi olarak kurgulanması, beklenen hasar büyüklüğünün tutarlı bir aktüeryal yöntemle hesaplanmasına olanak tanımakta ve underwriting sürecinde sigorta alıcısına nesnel bir müzakere zemini sunmaktadır.

Bu çalışma, gerçek bir endüstriyel tesise dayalı olmakla birlikte maliyet ve hasar tahminleri yaklaşık değerler üzerinden modellenmiştir. Yangın frekansı parametresi ($\lambda = 0,05$) uzman değerlendirmesiyle belirlenmiş olup tesisin fiilî hasar geçmişine dayalı ampirik bir kalibrasyon yapılamamıştır. Gelecek araştırmalarda çok sayıda tesis üzerinden yürütülen karşılaştırmalı çalışmalar, senaryo olasılıklarının istatistiksel olarak daha sağlam biçimde belirlenmesine ve risk azaltma yatırımlarının sektörel bazda finansal etkilerinin genelleştirilebilmesine katkı sunacaktır. Bunun yanı sıra, aktif ve pasif koruma önlemlerinin birlikte uygulandığı hibrit modellerin finansal katkısının araştırılması, sabit kıymet risk yönetimi ile sigortacılık optimizasyonu arasındaki ilişkiyi daha kapsamlı bir perspektiften ele alacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Boomhower, J., Fowlie, M., & Plantinga, A. J., "Wildfire Insurance, Information, and Self-Protection", AEA Papers and Proceedings, 2024
[2] California Department of Insurance, "PML Reporting Instructions", 2022
[3] Casualty Actuarial Society, "Foundations of Casualty Actuarial Science", (4. bs.), CAS, 2014
[4] Eckles, D. L., Hoyt, R. E., Miller, S. M., "The impact of enterprise risk management on the marginal cost of reducing risk: Evidence from the insurance industry", Journal of Banking & Finance, 2014
[5] FM Global, "Earthquakes" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-02, Factory Mutual Insurance Company, 2024
[6] FM Global, "Fire Resistance of Building Assemblies" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-21, Factory Mutual Insurance Company, 2012
[7] FM Global, "Maximum Foreseeable Loss" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-22, Factory Mutual Insurance Company, 2023
[8] FM Global, "Maximum Foreseeable Loss Limiting Factors" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-42, Factory Mutual Insurance Company, 2023
[9] FM Global, "Plastics in Construction" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-57, Factory Mutual Insurance Company, 2026
[10] FM Global, "Pre-Incident and Emergency Response Planning" - Property Loss Prevention Data Sheets 10-01, Factory Mutual Insurance Company, 2023
[11] FM Global, "Protection Against Exterior Fire Exposure" - Property Loss Prevention Data Sheets 1-20, Factory Mutual Insurance Company, 2025
[12] Gerber, H. U., "An Introduction to Mathematical Risk Theory", Huebner Foundation, 1979
[13] Grammatika, M., "How does the Insurance Industry use the Principles of Management of Process Safety", IChemE Symposium Series, 2019
[14] Hall Jr., J. R., "U.S. Experience with Sprinklers", National Fire Protection Association (NFPA), 2013
[15] Hall Jr., J. R., "U.S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment", NFPA/NFSA, 2009
[16] Hoyt, R. E., Liebenberg, A. P., "The Value of Enterprise Risk Management", Journal of Risk and Insurance, 2011
[17] Hurley, M. J., "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Springer, 2016
[18] "Risk Management – Guidelines", International Organization for Standardization, 2018
[19] Kaas, R., Goovaerts, M., Dhaene, J., Denuit, M., "Modern Actuarial Risk Theory: Using R", (2. bs.), Springer, 2008
[20] Klugman, S. A., Panjer, H. H., Willmot, G. E., "Loss Models: From Data to Decisions", (Fourth Edition), Wiley, 2012
[21] Kunreuther, H., & Roth, R. J., "Paying the Price: The Status and Role of Insurance Against Natural Disasters in the United States", National Academies Press, 1998
[22] Lalonde, C., Boiral, O., "Managing risks through ISO 31000: A critical analysis", Risk Management, 2012
[23] National Fire Protection Association, "Fires by Occupancy or Property Type", NFPA Research, 2023
[24] National Fire Protection Association, "US Experience with Sprinklers", NFPA Research, 2020
[25] "NFPA 221: Standard for High Challenge Fire Walls, Fire Walls, and Fire Barrier Walls", National Fire Protection Association, 2024
[26] Njegomir, V., Demko Rihter, J., "The Role and Importance of Insurance of Business and Supply Chain Interruptions", Management, 2015
[27] Purdy, G., "ISO 31000:2009—Setting a New Standard for Risk Management", Risk Analysis, Vol. 30, No. 6, 2010
[28] Woo, G., "Natural Catastrophe Probable Maximum Loss", British Actuarial Journal, Vol. 8, No. 5, pp. 943–259, 2002

ÖZGEÇMİŞ

Burkay KARADAYI

Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Üniversite son yıllarında yarı zamanlı başladığı risk yönetimi alanındaki risk mühendisliği kariyerini halen Marsh Risk Danışmanlığı ekibinde Kıdemli Müdür unvanıyla sürdürmektedir. Akademik kariyerini de profesyonel meslek hayatıyla paralel yürüterek 2017 yılında yüksek lisans ve 2022 yıllarında da doktora eğitimini Çukurova Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında tamamlayarak doktor unvanını aldı. Bir dönem Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde risk yönetimi dersi de veren Dr. Burkay Karadayı akademik çalışmalarını yayınladığı makale ve bildirileriyle devam ettirmektedir.

Etkin HASGÜL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) İstatistik bölümünden 2012 yılında mezun oldu. Risk modellemesi ve aktüerya alanlarına ilgili olduğu için mezun olduğu yıl ODTÜ Uygulamalı Matematik Enstitüsü Aktüerya Bilimleri Yüksek Lisansına başladı. 2013 yılında Afet Risk Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında çalışmalarına ODTÜ Uygulamalı Matematik Enstitüsü Finansal Matematik Doktora Programı'nda devam etti. Aynı yıl Enstitü'de de araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve İstatistik, Finansal Türevler, İleri Aktüerya Matematiği derslerinde asistanlık yaptı. 2019 yılında aktüerlik sınavlarını tamamlayarak lisanslı aktüer oldu. 2023 yılında doktorasını tamamlayarak doktor unvanı aldı. Şu an Marsh Analitik Çözümler Türkiye lideri olarak görev yapmaktadır.

AKILLI ŞEHİRLERDE YANGIN RİSK YÖNETİMİ VE CBS TABANLI YAKLAŞIMLAR

Hatice Canan GÜNGÖR

ÖZET

Akıllı şehir uygulamalarının yaygınlaşması, kent ölçeğinde yangın risk yönetiminin veri temelli ve bütünleşik yöntemlerle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, akıllı şehir bağlamında yangın risk yönetimi süreçlerini Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) odağında incelemek, mevcut yaklaşımları karşılaştırmak ve Türkiye için uygulanabilir bir çerçeve önermektir. Çalışma kapsamında yangın mühendisliği, afet yönetimi ve şehir planlama literatüründeki ulusal ve uluslararası yayınlar sistematik biçimde değerlendirilmiştir. İncelemede, CBS tabanlı risk haritalama, yangın istasyonu yer seçimi, müdahale süresi analizi, bağlı sensör verilerinin mekânsal entegrasyonu ve erken uyarı mekanizmaları öne çıkan yöntemler olarak belirlenmiştir. Bulgular, CBS destekli karar sistemlerinin tehlike yoğunlaşmalarını görünür kıldığını, kaynak tahsisini iyileştirdiğini ve müdahale performansını artırdığını göstermektedir. Bununla birlikte veri standardizasyonu, kurumlar arası eşgüdüm, nitelikli insan kaynağı ve mevzuat uyumu temel uygulama zorluklarıdır. Sonuç olarak, akıllı şehirlerde yangın güvenliğinin yalnızca operasyonel müdahale ile değil, önleyici planlama, sürekli izleme ve mekânsal karar destek sistemleriyle birlikte yönetilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Akıllı şehir, yangın risk yönetimi, coğrafi bilgi sistemleri, afet yönetimi, erken uyarı.

Fire Risk Management in Smart Cities And GIS-Based Approaches

The widespread adoption of smart city applications necessitates the management of urban fire risk through data-driven and integrated approaches. This review study aims to examine fire risk management processes within the context of smart cities, with a particular focus on Geographic Information Systems (GIS), to compare existing approaches and propose an applicable framework for Turkey. Within the scope of the study, national and international literature in fire engineering, disaster management, and urban planning was systematically reviewed. The analysis identifies GIS-based risk mapping, fire station location optimization, response time analysis, spatial integration of sensor-based data, and early warning mechanisms as the prominent methods. The findings indicate that GIS-supported decision systems enhance the visibility of hazard concentrations, improve resource allocation, and increase intervention performance. However, key challenges include data standardization, inter-institutional coordination, the availability of qualified human resources, and regulatory compliance. Consequently, it is concluded that fire safety in smart cities should be managed not only through operational response but also through preventive planning, continuous monitoring and spatial decision support systems.

Keywords: Smart city, fire risk management, GIS, disaster management, early warning

1. GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Kentleşme hızının artması, yüksek katlı yapılaşma, karma kullanımlı bina tipolojileri, enerji altyapılarının yoğunlaşması ve nüfus hareketliliği, şehirlerde yangın riskini hem mekânsal hem de zamansal olarak karmaşıklaştırmaktadır. Konvansiyonel yangın güvenliği yaklaşımı çoğunlukla olay sonrası müdahale perfor-

mansına odaklanırken, akıllı şehir paradigması yangının oluşmadan önce öngörülmesini, riskin mekânsal olarak izlenmesini ve kaynakların dinamik biçimde yönetilmesini gerekli kılmaktadır [1], [2].

Türkiye bağlamında özellikle büyükşehirlerde yapı stoğunun heterojenliği, eski ve yeni yerleşim dokularının birlikte var olması, trafik kaynaklı gecikmeler ve kritik altyapı kümelenmeleri, yangın risk yönetiminde bütünleşik karar destek sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır [3], [4]. Bu ihtiyaç, yalnızca itfaiye teşkilatlarının operasyonel kapasitesi ile sınırlı değildir; aynı zamanda şehir planlama, bina denetimi, ulaşım, enerji, sağlık ve afet koordinasyon birimlerinin ortak veri zemini üzerinde çalışmasını gerektirir [5].

1.2 Literatür Taraması

Akıllı şehir literatüründe yangın güvenliği, çoğunlukla kent dayanıklılığı (urban resilience), kritik altyapı güvenliği ve afet risk azaltma başlıkları altında ele alınmaktadır [6], [7]. CBS tabanlı çalışmalar, tehlike-maruziyet-kırılganlık bileşenlerini mekânsal analiz teknikleriyle birleştirerek öncelikli risk bölgelerini tanımlamakta ve müdahale planlamasını desteklemektedir [8], [9]. Yangın istasyonu yer seçimi çalışmalarında Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP), TOPSIS, VIKOR ve bulanık çok ölçütlü karar verme teknikleri yaygın biçimde kullanılmaktadır [10], [11]. Ağ analizi tabanlı müdahale süresi modellemeleri, yol sınıfı, trafik yoğunluğu, kavşak gecikmesi ve yol kapanma senaryolarını dikkate alarak kapsama performansını değerlendirmektedir [12], [13]. Son yıllarda IoT tabanlı sensör verileri, uzaktan algılama ürünleri ve dijital ikiz yaklaşımlarıyla gerçek zamana yakın izleme uygulamalarının arttığı görülmektedir [14], [15]. ˇ Türkiye'de ise bina yangınları, endüstriyel tesis yangınları ve orman-kent arayüzü (WUI) etkileri üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, akıllı şehir mimarisiyle tam entegre edilmiş, performans göstergeleri tanımlanmış ve kurumsal veri yönetişimini merkezine alan bütüncül modeller sınırlıdır [16], [17].

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu bildirinin amacı üç boyutludur:
- Akıllı şehirlerde yangın risk yönetiminin kavramsal ve operasyonel bileşenlerini CBS ekseninde bütünleştirmek,
- Literatürdeki yöntemleri Türkiye'nin kurumsal ve mekânsal koşulları açısından karşılaştırmalı değerlendirmek,
- Türkiye için uygulanabilir, veri odaklı ve çok paydaşlı bir yangın risk yönetim çerçevesi önermek

2. AKILLI ŞEHİRLER VE YANGIN RİSKİ

2.1 Akıllı Şehir Kavramı

Akıllı şehir, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kent yönetimi süreçlerine entegre edilerek kaynak verimliliği, yasam kalitesi, güvenlik ve sürdürülebilirliğin artırılmasını hedefleyen bir yönetişim modelidir [1], [6]. Yangın güvenliği açısından bu model; veri üretimi (sensörler, mobil sistemler), veri entegrasyonu (CBS, açık veri altyapıları), karar üretimi (analitik modeller) ve uygulama (operasyon, denetim, eğitim) katmanlarından oluşur. Yangın riskinin akıllı şehirde yönetimi, klasik denetim-müdahale döngüsünü genişleterek şu aşamaları içerir:
(i) Riskin sürekli izlenmesi,
(ii) Öngörücü analiz,
(iii) Önleyici düzenlemeler,
(iv) Hızlı ve optimize müdahale,
(v) Olay sonrası ögrenme ve model güncelleme [7], [15].

2.2 Yangın Risk Faktörleri

Yangın riski genel olarak aşağıdaki bileşenlerle ifade edilir:

$$R = H \times E \times V / C \quad (1)$$

Burada R risk düzeyini, H tehlike olasılığını, E maruziyeti, V kırılganlığı ve C müdahale/baş etme kapasitesini temsil eder [8], [18]. Kentsel yangın riski açısından başlıca faktörler şunlardır:

- Yapısal faktörler: Bina yaşı, taşıyıcı sistem türü, yangın dayanım sınıfı, kaçış olanakları, aktif/pasif yangın güvenlik sistemlerinin varlığı [19].
- Sosyo-mekânsal faktörler: Nüfus yoğunluğu, gece-gündüz nüfus dalgalanması, hassas grupların dağılımı (yaşlı, engelli, çocuk) [9].
- Altyapı faktörleri: Hidrant erişimi, su basıncı sürekliliği, yol genişliği, kavşak kapasitesi, kritik tesis yakınlığı [12], [20].
- İklimsel/çevresel faktörler: Sıcaklık, rüzgâr, kuraklık ve ısı adası etkisi gibi değişkenler [21]. ˇBu faktörlerin çoğu mekânsal olarak degişken olduğundan, yangın riskinin sabit bir değer değil, zamanla güncellenmesi gereken dinamik bir yüzey olarak ele alınması gerekir.

3. CBS TABANLI YANGIN RİSK ANALİZİ

CBS, farklı kaynaklardan gelen verileri ortak koordinat sisteminde birleştirerek yangın riskinin mahalle, bina, yol kesiti veya kritik tesis ölçeğinde analiz edilmesine olanak tanır. Bu rol dört ana işlevde özetlenebilir [8], [22]:

- Mekânsal veri bütünleştirme,
- Risk göstergelerinin haritalanması,
- Senaryo ve kapsama analizi,
- Karar vericilere görselleştirilmiş çıktı üretimi.

3.1 Veri Türleri

CBS tabanlı yangın risk analizinde kullanılan veri türleri ve işlevleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: CBS tabanlı yangın risk yönetiminde temel veri türleri

Veri Grubu	Örnek Katmanlar	Kullanım Amacı
Yapı ve arazi kullanımı	Bina envanteri, kat adedi, kullanım türü, imar planı	Tehlike/maruziyet yoğunluğu belirleme
Nüfus ve sosyoekonomi	Nüfus yoğunluğu, yaş dağılımı, hassas grup oranları	Kırılganlık analizi, tahliye önceliklendirme
Ulaşım ve erişilebilirlik	Yol ağı, hız profili, kavşak gecikmesi, kapanma senaryosu	Müdahale süresi ve servis alanı analizi
Yangın altyapısı	İtfaiye istasyonları, hidrantlar, su depoları, ekipman kapasitesi	Kapasite analizi ve kaynak tahsisi
Gerçek zamanlı veri	Duman/ısı sensörleri, meteorolojik veriler, olay akışı	Erken uyarı ve dinamik risk güncellemesi

Veri kalitesinin yetersiz olması durumunda model çıktılarının belirsizliği artmakta; bu nedenle konumsal doğruluk, güncellik, bütünlük ve standart metaveri üretimi kritik önem taşımaktadır [5], [23].

3.2 Risk Haritalama

Risk haritalama aşamasında literatürde ağırlıklı doğrusal bileşim (Weighted Linear Combination) yaklaşımı yaygındır [10], [11]. Standartlaştırılmış gösterge skorları $\mathbf{x}_i$ ve ağırlıklar $\mathbf{w}_i$ kullanılarak bileşik risk endeksi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$RI = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i, \quad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad \textbf{(2)}$$

Ağırlıkların uzman görüşüyle belirlenmesi, katılımcı süreçleri güçlendirmekle birlikte öznel yanlılık üretebilir. Bu nedenle hassasiyet analizi yapılarak ağırlık değişimlerinin sonuçlara etkisi değerlendirilmelidir [11], [24]. Önerilen risk yönetim döngüsü şu şekilde olmalıdır.

Veri Toplama (statik + dinamik) → CBS Entegrasyonu ve kalite kontrol → Risk Modelleme → Müdahale ve kaynak optimizasyonu → Performans izleme ve geri besleme Geri besleme mekanizması ile performans sonuçları model parametrelerini günceller.

4. UYGULAMA / MODEL ÖNERİSİ

4.1 Örnek Senaryo (Türkiye Bağlamı)

Önerilen model, büyükşehir ölçeğinde nüfusu 1–2 milyon aralığında olan, merkez ilçelerde yoğun ticaret-konut karışımı ve çevre ilçelerde sanayi kümelenmesi bulunan bir kent senaryosu üzerinden tanımlanmıştır. Senaryoda üç temel sorun varsayılmıştır: **(i)** merkezde eski yapı stoğu ve dar yol ağı, **(ii)** çeperde hızlı büyüyen yeni yerleşimler, **(iii**) gün içi trafik yoğunluğunun müdahale sürelerini uzatması [3], [4], [16]

4.2 Risk Analizi Yaklaşımı

Önerilen yaklaşım dört modülden oluşmaktadır:

- **Modül-1:** Veri yönetişimi ve entegrasyon (belediye, itfaiye, tapu-kadastro, meteoroloji ve nüfus verilerinin ortak şemaya dönüştürülmesi),
- **Modül-2:** Dinamik risk puanlama (bina bazlı statik göstergelerin saatlik trafik/iklim verisiyle güncellenmesi),
- **Modül-3:** Müdahale optimizasyonu (ağ analizi ile en kısa süreli rota ve alternatif istasyon ˇdevreye alma),
- **Modül-4:** Performans izleme (olay başına ulaşım süresi, ilk müdahale süresi, kontrol altına alma süresi ve kayıp göstergeleri).

Modelde olay talep noktası j için beklenen müdahale süresi aşağıdaki, şekilde ifade edilmektedir:

$$T_j = \min_{k \in K} \left(t_k^{\text{çıkış}} + t_{kj}^{\text{yol}}(\tau) + t_j^{\text{kurulum}} \right) \qquad \textbf{(3)}$$

4.3 Sistem Önerisi

Türkiye'de uygulanabilir bir sistem için teknik ve kurumsal mimari birlikte ele alınmalıdır:

- **Teknik katman:** OGC uyumlu mekânsal veri servisleri, olay akışı için API tabanlı entegrasyon, panellerde gerçek zamanlı risk görselleştirme [22].
- **Kurumsal katman:** Veri paylaşım protokolleri, ortak sözlük/standartlar, hizmet seviyesi göstergeleri ve periyodik performans denetimi [5], [23].
- **Operasyonel katman:** Vardiya planlamasında risk yoğunluk saatlerinin dikkate alınması, hidrant bakım önceliklendirmesi ve yüksek riskli mahallelerde hedefli denetim [20].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın temel çıkarımları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Yangın riski, akıllı şehir bağlamında statik değil dinamik bir mekânsal olgudur; bu nedenle risk haritaları düzenli aralıklarla güncellenmelidir.
- CBS tabanlı karar destek sistemleri, tehlike-maruziyet-kırılganlık-kapasite bileşenlerini tek platformda birleştirerek önleyici planlamayı güçlendirmektedir.
- Ağ analizi tabanlı müdahale planlaması, yalnızca ortalama süreleri değil, pik saat ve afet eşzamanlılığı senaryolarını da içermelidir.
- Türkiye'de uygulama başarısı için teknik altyapı kadar veri yönetişimi, kurumlar arası iş birliği ve nitelikli insan kaynağı kritik belirleyicilerdir.
- Yerel yönetimlerde performans göstergelerine dayalı izleme kültürü geliştirilmeden dijital sistem yatırımlarının etkisi sınırlı kalacaktır.
- Ulusal düzeyde yangın risk verileri için asgari ortak veri standardı geliştirilmelidir.
- Büyükşehir belediyelerinde CBS tabanlı yangın karar destek birimleri kurulmalı ve çok disiplinli uzman istihdamı artırılmalıdır.
- Yüksek riskli bölgelerde sensör yoğunluğu ve saha denetimleri risk skorlarına göre önceliklendirilmelidir.
- Egitim, tatbikat ve olay sonrası değerlendirme çıktıları modele geri beslenerek sistemin öğrenme kapasitesi güçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Amsterdam: VU University of Amsterdam*.

[2] Harrison, C., & Donnelly, I. A. (2011, September). A theory of smart cities. In *Proceedings of the 55th Annual Meeting of the ISSS-2011, Hull, UK*.

[3] TARAP, A. (2018). *Türkiye Afet Risk Azaltma Planı*.

[4] MANTAŞ, Ş., & ALKAN, A. (Eds.). (2025). *Kent Araştırmaları II*. Akademisyen Kitabevi.

[5] Koç, F. (2024). AFET YÖNETİMİNDE EŞGÜDÜM KAPASİTESİNİN GÖRÜNÜMÜ: TÜRKİYE AFET MÜDAHALE PLANI (TAMP). *Memleket Siyaset Yönetim*, *19*(43), 661-686.

[6] Santos, GD, Souza, JD, Pereira, AC, Silva, IBN ve Gonçalves, NB (Eylül 2025). Kentsel Planlama ve Dirençlilik: Risk Yönetimi ve Öngörücü Tedbirler için Yerel Stratejiler. *IOP Konferans Serisi: Yer ve Çevre Bilimleri* (Cilt 1536, Sayı 1, s. 012019). IOP Yayıncılık.

[7] ISO. (2018). ISO 37120: 2018 Sustainable Cities and Communities—Indicators for City Services and Quality of Life.

[8] Chuvieco, E. (2020). *Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach*. CRC press.

[9] Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). Social vulnerability to environmental hazards. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 115-132). Routledge.

[10] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, *1*(1), 83-98.

[11] Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International journal of geographical information science*, *20*(7), 703-726.

[12] Murray, A. T. (2017). GIS in regional research. In *Regional Research Frontiers-Vol. 2: Methodological Advances, Regional Systems Modeling and Open Sciences* (pp. 169-180). Cham: Springer International Publishing.

[13] Church, R. L., & Murray, A. T. (2009). *Business site selection, location analysis, and GIS* (pp. 209-233). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[14] Al-Turjman, F. (2020). Intelligence and security in big 5G-oriented IoNT: An overview. *Future generation computer systems*, *102*, 357-368.

[15] Batty, M. (2021). Multiple models. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *48*(8), 2129-2132.

[16] Erden, T. ve CoŞkun, MZ (2011). Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS'nin eklenmesi. *İTÜDERGİSİ/d* , *9* (6).

[17] Pekşen, M. F., Kaya, Y., Uyaroğlu, Y., Soyhan, H. S., & Çelik, C. (2022). Kocaeli İli Yangın Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi*, *10*(1), 9-20.

[18] United Nations. International Stratety for Disaster Reduction. Secretariat, & International Strategy for Disaster Reduction. (2015). Global assessment report on disaster risk reduction.

[19] Code, L. S. (2012). NFPA 101 life safety code. In *NFPA 101 Life Safety Code*.

[20] BECEREN, K. YAĞMURLAMA SİSTEMLERİ YENİ TASARIM KRİTERLERİ.

[21] Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., ... & Orendain, D. J. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

[22] Chowdhury, S., Schröder, D., Ostadabbas, H., Hosseingholizadeh, M., & Friesecke, F. (2024). Modernizing geospatial services: an investigation into modern OGC API implementation and comparative analysis with traditional standards in a web application. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *48*, 11-18.

[23] Kotsev, A., Minghini, M., Cetl, V., Penninga, F., Robbrecht, J., & Lutz, M. (2021). Inspire-a public sector contribution to the european green deal data space.

[24] Sala, S., Ciuffo, B., & Nijkamp, P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological economics*, *119*, 314-325.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Hatice Canan Güngör

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Canan Güngör, Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı'nda öğretim üyesidir. Lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans ve doktora eğitimini Harita Mühendisliği alanında tamamlamıştır.

Çalışma alanları; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), afet yönetimi, afet bilgi sistemleri, mekânsal analiz, yangın güvenliği, yangın risk analizi ve afetlerde ulaşım konularında yoğunlaşmaktadır. Akademik çalışmalarında CBS ve mekânsal karar destek yöntemlerini afet ve yangın yönetimi problemlerine uygulamaktadır. Ulusal ve uluslararası bilimsel dergilerde ve kitap bölümlerinde yayımlanmış çalışmaları bulunmaktadır.

Ayrıca akademik dergilerde yazım ve mizanpaj editörlüğü görevleri yürütmekte; öğrencilerin afet yönetimi, CBS ve yangın güvenliği alanlarında uygulamalı bilimsel çalışmalar geliştirmelerine yönelik projelerde danışmanlık yapmaktadır.

KRİTİK ENERJİ ALTYAPILARINDA BÜTÜNLEŞİK YANGIN GÜVENLİĞİ: MEVZUAT ADAPTASYONUNDAN DİJİTAL İKİZ TABANLI RİSK YÖNETİMİNE STRATEJİK YAKLAŞIM

Ergin GENÇER

ÖZET

Türkiye'nin enerji arz güvenliği ve enerji verimliliği hedefleri doğrultusunda batarya enerji depolama sistemleri (BEDS), yenilenebilir enerji santralleri ve elektrikli araç (EA) şarj altyapıları hızla yaygınlaşmaktadır. Bu dönüşüm, geleneksel koruma yöntemlerinin ötesinde, yeni nesil teknolojik risk profillerine uygun bütünleşik bir yangın güvenliği yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada yangın güvenliği; mevzuatın gelişen teknolojiye uyarlanması, aktif ve pasif sistemlerin senkronizasyonu ve dijital risk yönetimi eksenlerinde bir mühendislik disiplini olarak ele alınmıştır. Lityum-iyon bataryalarda termal kaçak (thermal runaway) mekanizması, gaz salınımına dayalı erken uyarı, kablo galerilerinde ve kapalı otoparklarda duman kontrolü ile yanıcı gaz seyreltme gereksinimi uluslararası standartlar (NFPA 855, UL 9540A, TS EN IEC 62485-2) ışığında incelenmiş; gerekli havalandırma debisinin belirlenmesine yönelik bir hesap yaklaşımı örnek bir uygulamayla sunulmuştur. Türkiye'de yürürlükteki yangın, otopark ve şarj hizmetleri mevzuatı bu teknolojiler açısından değerlendirilmiş ve düzenleme boşlukları belirlenmiştir. Ayrıca yapısal yangın durdurucu sistemlerin BIM tabanlı Dijital İkiz platformlarına entegrasyonunun yangın öncesi, yangın anı ve yangın sonrası süreçlere ve risk yönetimine katkısı tartışılmıştır. Sonuç olarak Türkiye'nin enerji ve mobilite altyapısının sürdürülebilirliği için teknik, hukuki ve dijital bileşenlerden oluşan aşamalı bir yol haritası önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Enerji Arz Güvenliği, Mevzuat Adaptasyonu, Elektrikli Araç Yangın Güvenliği, Termal Kaçak, Dijital İkiz, Yangın 4.0

INTEGRATED FIRE SAFETY IN CRITICAL ENERGY INFRASTRUCTURE: A STRATEGIC APPROACH FROM REGULATORY ADAPTATION TO DIGITAL TWIN-BASED RISK MANAGEMENT

ABSTRACT

In line with Türkiye's energy supply security and energy efficiency targets, battery energy storage systems (BESS), renewable energy power plants and electric vehicle (EV) charging infrastructures are expanding rapidly. This transformation necessitates an integrated fire safety approach tailored to new-generation technological risk profiles, beyond traditional protection methods. In this study, fire safety is addressed as an engineering discipline along three axes: adapting regulations to emerging technologies, synchronizing active and passive systems, and digital risk management. The thermal runaway mechanism of lithium-ion batteries, off-gas based early warning, smoke control in cable galleries and enclosed car parks, and the need for flammable gas dilution are examined in light of international standards (NFPA 855, UL 9540A, EN IEC 62485-2), and a calculation approach for determining the required ventilation rate is presented with a worked example. The Turkish fire, car park and charging services regulations in force are assessed with respect to these technologies, and regulatory gaps are identified. Furthermore, the contribution of integrating structural firestopping systems into BIM-based Digital Twin platforms to pre-fire, during-fire and post-fire processes, as well as to risk management, is discussed. Consequently, a phased roadmap comprising technical, legal and digital components is proposed for the sustainability of Türkiye's energy and mobility infrastructure.

Keywords: Energy Supply Security, Regulatory Adaptation, EV Fire Safety, Thermal Runaway, Digital Twin, Fire 4.0.

1. GİRİŞ

Enerji sektöründe yaşanan dijitalleşme ve karbonsuzlaşma süreçleri, kritik altyapı tesislerinin risk profillerini köklü biçimde değiştirmektedir. Şebeke ölçeğindeki batarya enerji depolama sistemleri (BEDS), rüzgâr ve güneş enerjisi santralleri ile elektrikli araç (EA) şarj altyapıları, geleneksel termik veya hidroelektrik santrallere kıyasla farklı kimyasal ve elektriksel yangın tehlikeleri barındırmaktadır [1, 2].

Geleneksel yangın güvenliği anlayışı çoğunlukla yapısal yangın yüküne ve standart alev/duman algılamasına dayanmaktadır. Oysa yüksek enerji yoğunluklu lityum-iyon sistemlerde ortaya çıkan termal kaçak olgusu; yanıcı ve zehirli gaz salınımı, kendi kendini besleyen ısı üretimi ve hücreden hücreye yayılım nedeniyle yeni mühendislik çözümleri gerektirmektedir [1, 3]. Bu kapsamda yangın güvenliğinin yalnızca tasarım aşamasında değil, işletme süreçlerini de kapsayacak biçimde "Bütünleşik Yangın Güvenliği" yaklaşımıyla ele alınması gerekmektedir.

Çalışmada "Yangın 4.0" kavramı; nesnelerin interneti (IoT) sensörleri, gerçek zamanlı veri analitiği, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ve dijital ikiz gibi Endüstri 4.0 bileşenlerinin yangın güvenliğinin tasarım, işletme, müdahale ve yangın sonrası inceleme aşamalarına bütünleşik olarak uygulanması anlamında kullanılmaktadır.

Çalışma, derleme ve uygulama odaklı bir yöntemle hazırlanmıştır: (i) ilgili uluslararası standartlar ve hakemli literatür incelenmiş, (ii) Türkiye'de yürürlükteki yangın, otopark ve şarj hizmetleri mevzuatı bu standartlarla karşılaştırılmış, (iii) termal kaçak ve yanıcı gaz seyreltmesine ilişkin temel hesap bağıntıları örnek bir uygulamayla gösterilmiş ve (iv) elde edilen bulgular aşamalı bir yol haritasına dönüştürülmüştür.

2. LİTYUM-İYON BATARYALARDA TERMAL KAÇAK VE RİSK YÖNETİMİ

Lityum-iyon bataryalarda termal kaçak; mekanik (ezilme, delinme), elektriksel (aşırı şarj, iç veya dış kısa devre) ya da termal (dış ısı kaynağı) kötüye kullanım koşulları sonucunda hücre içindeki ekzotermik reaksiyonların kontrolsüz biçimde hızlanmasıyla meydana gelmektedir [1]. Hücre düzeyinde başlayan süreç, komşu hücrelere ve modüllere yayılarak sistem ölçeğinde yangına dönüşebilmektedir. Bu süreçte açığa çıkan H_2, CO, CH_4 ve C_2H_4 gibi yanıcı gazların kapalı hacimlerde birikmesi patlama riskini; hidrojen florür (HF) gibi zehirli gazlar ise insan sağlığı ve müdahale ekipleri açısından ayrı bir tehlikeyi ortaya çıkarmaktadır [3, 4].

Termal kaçak sırasında birim zamanda açığa çıkan ısı (ısı salım hızı), kütle kayıp hızı ve efektif yanma ısısı cinsinden Denklem (1) ile ifade edilmektedir:

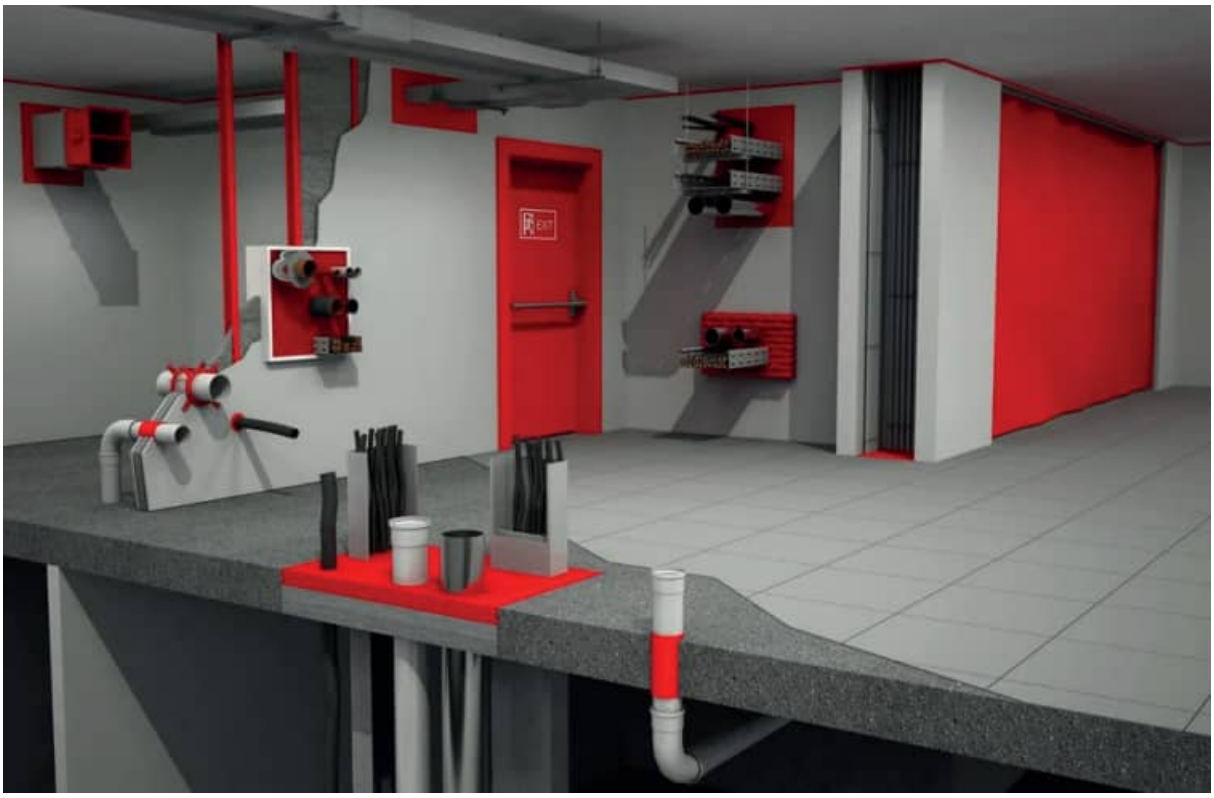
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_{\text{eff}} \quad (1)$$

Burada;

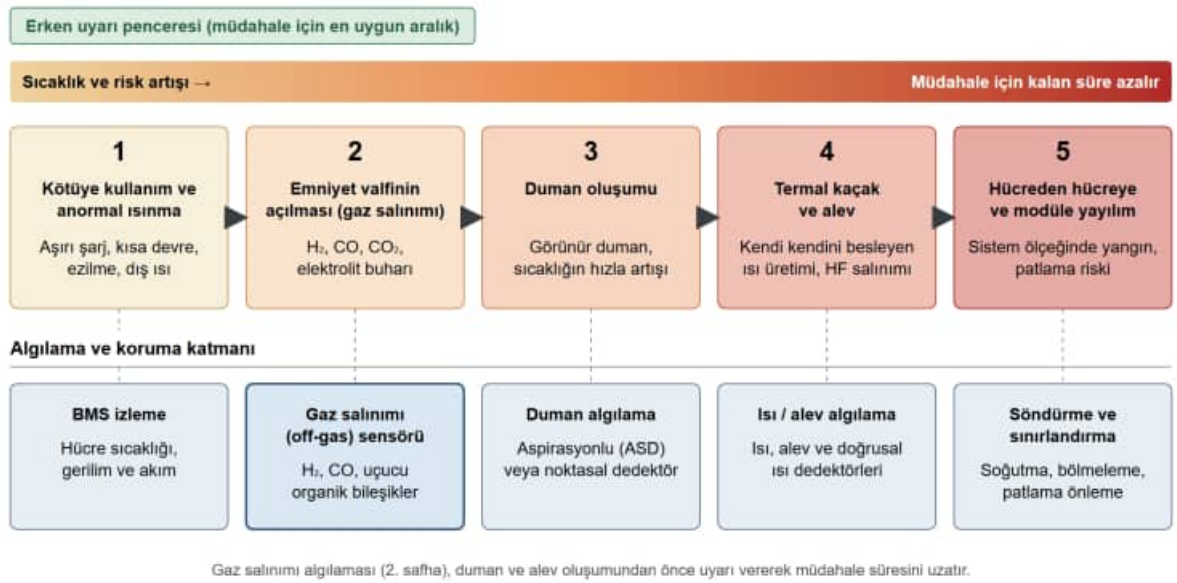
- $\dot{Q}$: Isı salım hızı (kW),
- $\dot{m}$: Kütle kayıp (yanma) hızı (kg/s),
- ΔH_{eff}: Batarya malzemesinin efektif yanma ısısıdır (kJ/kg).

Isı salım hızı; söndürme sistemi kapasitesinin, yapısal yangın dayanımının ve duman tahliye debisinin belirlenmesinde temel tasarım girdisidir. Bu nedenle tasarımda kullanılacak $\dot{m}$ ve ΔH_{eff} değerlerinin varsayımlara değil, UL 9540A gibi hücre, modül ve ünite düzeyinde yapılan büyük ölçekli yangın testlerinin sonuçlarına dayandırılması gerekmektedir [5].

Termal kaçağın safhaları ve her safhada devreye giren algılama katmanları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Yangına dayanımlı bölmeleme ve kablo-boru tesisatı geçişlerinde pasif yangın durdurucu uygulamaların temsili gösterimi.



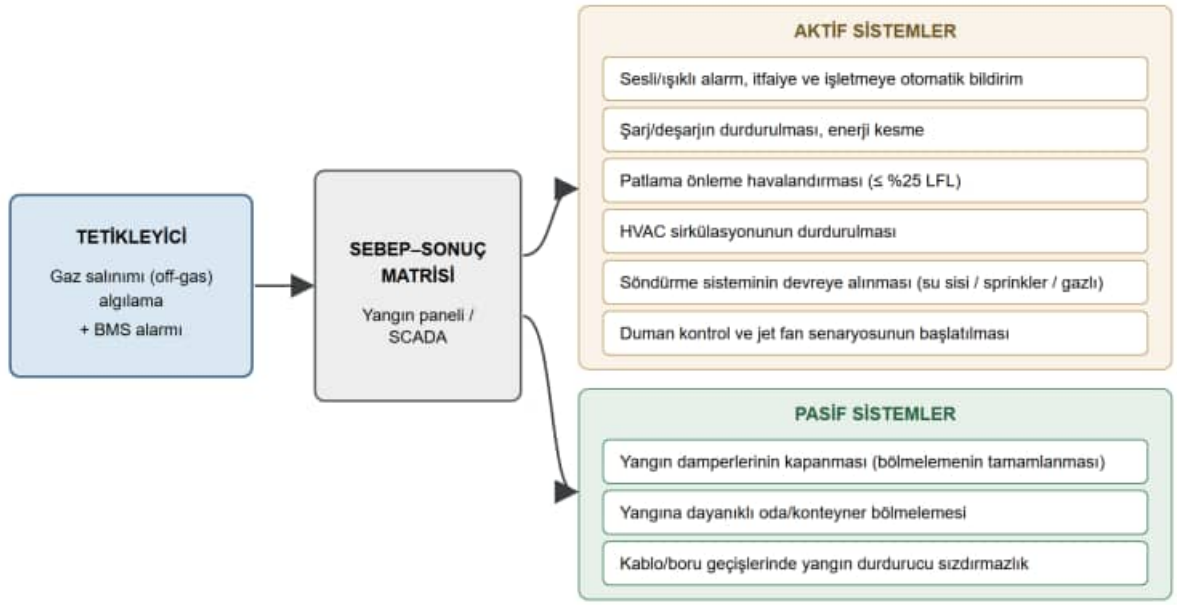
Şekil 2: Lityum-iyon batarya depolama sistemlerinde termal kaçak safhaları ve algılama katmanları.

2.1. Aktif ve Pasif Koruma Sistemlerinin Senkronizasyonu

BEDS ve mobilite uygulamalarında erken uyarı kritik önem taşımaktadır. Termal kaçağın ilk aşamasında hücre emniyet valfinin açılmasıyla başlayan gaz salınımı, görünür duman ve alev oluşumundan önce gerçekleşir; standart duman dedektörleri ise çoğunlukla bu aşamadan sonra tepki verir. Bu nedenle batarya odalarında ve konteynerlerinde gaz salınımı (off-gas) algılama sensörlerinin batarya yönetim sistemi (BMS) verileriyle birlikte kullanılması, müdahale için zaman kazandıran bir uygulama olarak öne çıkmaktadır.

Gaz algılama sinyalinin; havalandırma, iklimlendirme (HVAC), yangın damperleri, enerji kesme ve söndürme sistemleriyle önceden tanımlanmış bir sebep-sonuç matrisi üzerinden entegre edilmesi gerekir (Şekil 3). Söndürme yöntemi seçilirken gazlı sistemlerin alevi bastırabildiği ancak hücre içindeki ısı üretimini durduramadığı, bu nedenle yeniden tutuşma riskine karşı soğutma kapasitesi yüksek sulu sistemlerin tek başına ya da gazlı sistemlerle birlikte kullanıldığı dikkate alınmalıdır [2, 6]. Su sisi sistemleri, daha düşük su tüketimi ve pompa gücüyle yüksek soğutma etkisi sağlayarak enerji verimliliği hedefleriyle uyumlu bir seçenek sunmaktadır.

Pasif koruma tarafında NFPA 855, bina içindeki BEDS odalarının binanın diğer bölümlerinden yangına dayanıklı yapı elemanlarıyla (genel olarak 2 saat yangın dayanımlı) ayrılmasını; batarya dizileri için ise kapasite ve aralık sınırlarını öngörmekte, bu sınırların aşılmasını UL 9540A büyük ölçekli yangın testi sonuçlarına bağlamaktadır [5, 6]. TS EN IEC 62485-2 ise batarya odalarında şarj sırasında açığa çıkan hidrojenin seyreltilmesine yönelik havalandırma gereksinimlerini tanımlamaktadır [7]. Bu bölmelerden geçen kablo ve boru tesisatının test edilmiş yangın durdurucu sistemlerle kapatılmaması, bölmelemenin sağladığı yangın dayanımını geçersiz kılmaktadır.



Şekil 3: Gaz salınımı algılamasıyla tetiklenen aktif ve pasif yangından korunma sistemlerinin senkronizasyonu.

3. ŞARJ İSTASYONLARI VE KAPALI OTOPARKLARDA YANGIN GÜVENLİĞİ

Elektrikli araçların kapalı otoparklarda ve kamusal alanlarda şarj edilmesi, yüksek akım çekişi ve olası batarya yangınları nedeniyle yapılarda ek risk oluşturmaktadır. EA yangınlarında yeniden tutuşma, uzun süreli söndürme ihtiyacı ve araçtan araca yayılım olasılığı, kapalı otoparkları özellikle kritik kılmaktadır [2].

BEDS odalarında ve kapalı otopark şarj alanlarında, termal kaçak sırasında açığa çıkan yanıcı gazların konsantrasyonunu alt yanıcılık sınırının (LFL – Lower Flammability Limit) belirli bir oranının altında tutmak için gereken minimum havalandırma debisi Denklem (2) ile hesaplanabilir [8, 9]:

$$Q_v = \frac{\dot{V}_{gas} \cdot k}{f_{LFL} \cdot LFL} \quad (2)$$

Burada;

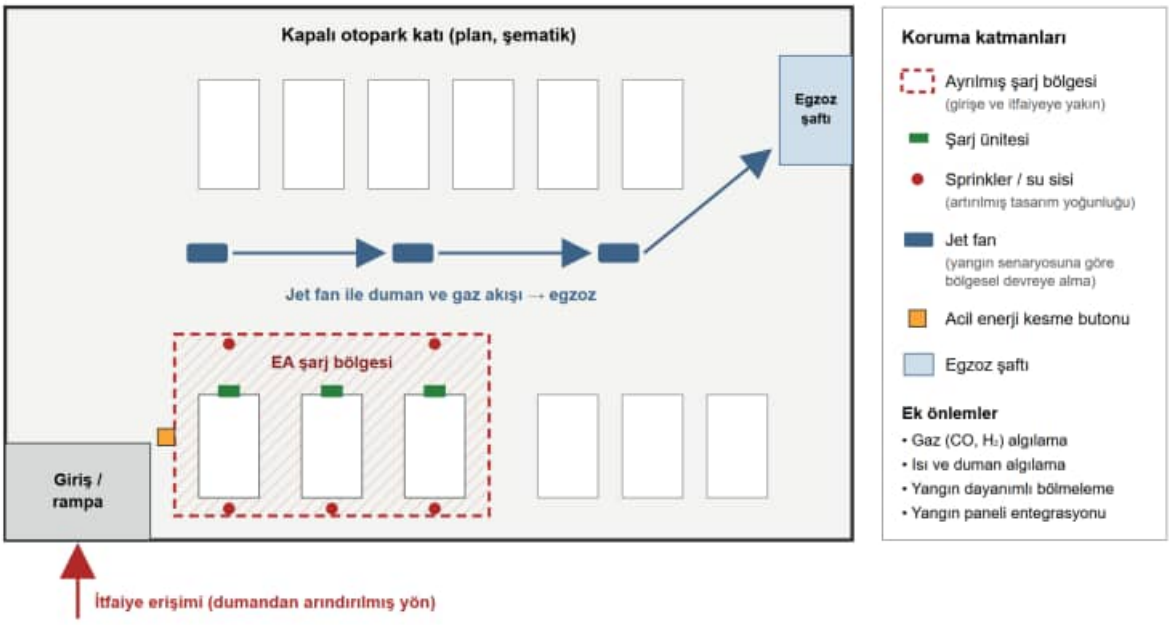
- Q_v: Gerekli minimum havalandırma debisi (m^3/s),
- $\dot{V}_{gas}$: Termal kaçak sırasında açığa çıkan yanıcı gaz debisi (m^3/s),

- k: Karışımın homojen olmamasını dikkate alan katsayı (k ≥ 1; iyi karışımda 1, ölü bölgeler bulunan hacimlerde daha büyük),
- LFL: Gaz karışımının alt yanıcılık sınırı (hacimsel oran; ör. %4 için 0,04),
- f_{LFL}: İzin verilen LFL oranıdır (NFPA 69'a göre genellikle 0,25).

Örnek uygulama: Termal kaçak sırasında $\dot{V}_{gas}$ = 0,005 m^3/s yanıcı gaz salındığı, gaz karışımının LFL değerinin 0,04, karışım katsayısının k = 2 ve izin verilen oranın f_{LFL} = 0,25 alındığı varsayılırsa gerekli havalandırma debisi Q_v = (0,005 × 2) / (0,25 × 0,04) = 1,0 m^3/s (3.600 m^3/h) olarak bulunur. Bu değer yalnızca yanıcı gaz seyreltmesi içindir; yangın durumunda duman tahliyesi için gereken debi ayrıca belirlenmelidir. Örnekteki gaz debisi varsayımsal olup gerçek tasarımda UL 9540A test verisi kullanılmalıdır [5]. CO ve HF gibi zehirli gazlar için ise LFL değil, ilgili mesleki maruziyet sınır değerleri esas alınmalıdır.



Şekil 4: Kapalı otoparkta elektrikli araç şarjı sırasında meydana gelen yangın, duman yayılımı, sprinkler müdahalesi ve kullanıcı tahliyesinin temsili gösterimi.



Şekil 5: Kapalı otopark EA şarj alanında yangın güvenliği katmanları.

3.1. Duman Kontrolü, Kablo Galerileri ve Yayılım Riskleri

Kapalı otoparklarda şarj sırasında oluşabilecek bir batarya yangınında açığa çıkan ısı ve zehirli gaz miktarı, klasik otopark havalandırma tasarımında esas alınan senaryoların üzerine çıkabilmektedir. Bu nedenle jet fan sistemlerinin yangın senaryosuna göre bölgesel olarak devreye alınması, itfaiyenin yaklaşım yönünün dumandan arındırılacak şekilde tasarlanması ve şarj alanlarının mümkün olduğunca giriş-çıkış rampalarına ve itfaiye erişimine yakın konumlandırılması önem taşımaktadır (Şekil 5).

Enerji tesislerindeki kablo galerileri ve şaftlar ise yangının ve dumanın uzun mesafelere taşınmasına imkân veren kritik güzergâhlardır. Bu alanlarda doğrusal ısı algılama, bölmeleme duvarlarındaki kablo geçişlerinin yangın durdurucu harç, mastik, yastık veya kablo kaplama malzemeleriyle kapatılması ve duman kontrol bölgelerinin tanımlanması birlikte ele alınmalıdır. Yangın durdurucu ürünlerin, test edildikleri geçiş tipi ve yangın dayanım süresiyle uyumlu olarak uygulanması gerekir.

4. MEVZUAT ADAPTASYONU: MEVCUT DURUM VE DÜZENLEME İHTİYAÇLARI

Türkiye'de yapı yangın güvenliği *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)*, elektrikli araç (EA) şarj altyapısına ilişkin düzenlemeler ise *Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği* ve *Şarj Hizmeti Yönetmeliği* kapsamında ele alınmaktadır. 2026 yılında 3194 sayılı İmar Kanunu'nda yapılan değişikliklerle periyodik yangın güvenliği kontrollerine ve yangın güvenlik uzmanlığına ilişkin yeni hükümler getirilmiş olmakla birlikte, bu düzenlemeler lityum-iyon batarya sistemlerine özgü teknik yangın güvenliği gerekliliklerini ayrıntılı biçimde tanımlamamaktadır [14].

BYKHY; yapı sınıflandırması, kapalı otopark havalandırması ve genel söndürme sistemlerini düzenlemekle birlikte, lityum-iyon bataryalara özgü termal kaçak (*thermal runaway*), yanıcı ve toksik gaz salımı (*off-gassing*), erken gaz algılama, BEDS/BESS özel kompartımanlaşması ve soğutma stratejilerine ilişkin bütünleşik teknik gereklilikler içermemektedir. Bu nedenle BEDS ve EA şarj alanlarının tasarımında ulusal mevzuatın yanı sıra risk temelli mühendislik yaklaşımından ve ilgili uluslararası standartlardan (*NFPA 855, UL 9540A, IEC 62933 serisi*) yararlanılması önem taşımaktadır.

Bu durum, uygulamada uluslararası standartların proje bazında ve isteğe bağlı olarak kullanılmasına ve tesisler arasında farklı güvenlik düzeylerinin oluşmasına yol açmaktadır.

Başlıca düzenleme ihtiyaçları Tablo 1'de özetlenmiştir.

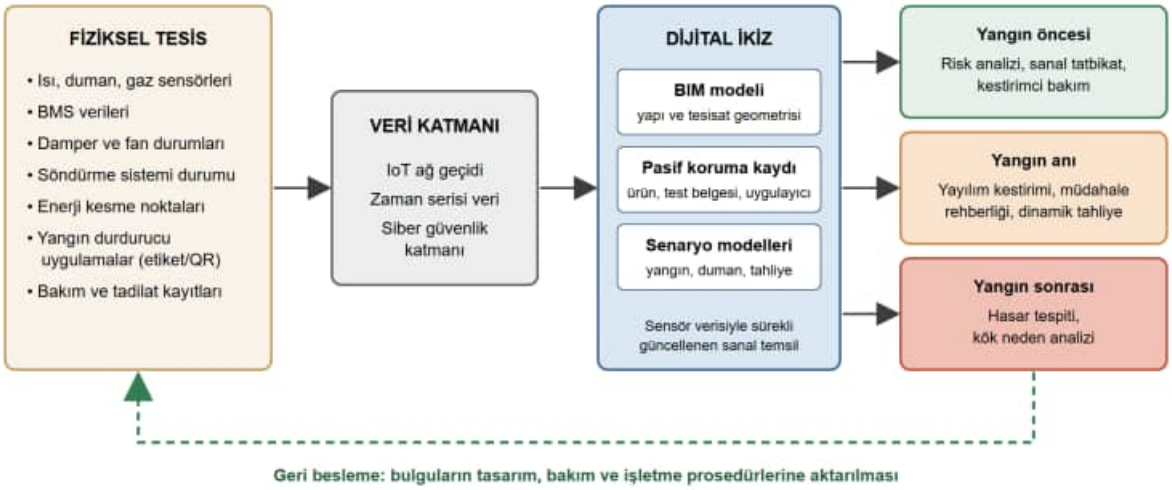
Tablo 1: BEDS ve EA şarj alanları açısından mevcut durum ve önerilen düzenlemeler

Konu	Mevcut durum	Önerilen düzenleme
BEDS odaları ve konteynerleri	BYKHY'de özel hüküm bulunmamaktadır.	NFPA 855 esaslı bölmeleme, kapasite ve aralık sınırları; UL 9540A test verisi şartı [5, 6]
Gaz salınımı algılama	Zorunluluk bulunmamaktadır.	Batarya odalarında off-gas algılama ve BMS ile entegrasyon şartı
Patlama önleme ve havalandırma	Genel havalandırma hükümleri uygulanmaktadır.	LFL'nin %25'i esas alınarak havalandırma hesabı veya patlama tahliye panelleri [9]
Kapalı otopark şarj alanları	Şarj ünitesi kurulumu düzenlenmiş; yangın güvenliği hükmü sınırlıdır.	Şarj alanının konumu, sprinkler tasarım yoğunluğu, jet fan senaryosu, acil enerji kesme butonu
Yangın durdurucu uygulamalar	Genel bölmeleme hükümleri uygulanmaktadır.	Test edilmiş sistem kullanımı, etiketleme ve dijital (BIM) kayıt zorunluluğu
İtfaiye müdahalesi	Genel müdahale usulleri uygulanmaktadır.	BEDS ve EA yangınlarına özgü müdahale prosedürü ve eğitim programı

5. DİJİTAL İKİZ VE BIM TABANLI YANGIN RİSK YÖNETİMİ

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) platformları, tesislerin tasarım aşamasından işletme aşamasına kadar tüm yangın durdurucu ve aktif sistem elemanlarının izlenmesine imkân tanımaktadır. Yapısal yangın durdurucu detayların ve yangın senaryolarının BIM modeline entegre edilmesi ve modelin sahadaki sensör verileriyle sürekli güncellenmesiyle oluşturulan dijital ikiz (digital twin), tesisin güncel durumunu sanal ortamda temsil eder [13]. Böylece tesis ömrü boyunca yapılan tadilat ve bakımlarda pasif koruma bütünlüğünün bozulup bozulmadığı dijital olarak takip edilebilir (Şekil 6).

Bu izlenebilirlik, sigorta ve risk yönetimi süreçleri açısından da değer üretmektedir. Yangın durdurucu uygulamaların ürün, test belgesi, uygulayıcı ve fotoğraf kaydıyla dijital modelde belgelenmesi; risk mühendisliği denetimlerini kolaylaştırmakta, hasar sonrası sorumluluk tespitini hızlandırmakta ve tesisin risk profilinin daha şeffaf değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu katkının prim ve teminat koşullarına etkisinin sayısal olarak ortaya konması ileri çalışma konusudur.



Şekil 6: Yangın güvenliği için dijital ikiz mimarisi ve kullanım aşamaları.

5.1. Yangın Öncesi: Risk Analizi ve Simülasyon

- **Sanal tatbikatlar:** Tahliye planları ve yangın senaryoları dijital ortamda simüle edilerek tasarım ve işletme prosedürleri sınanır.
- **Erken uyarı ve kestirimci bakım:** Isı, duman, gaz ve BMS sensörlerinden gelen verilerle tesisat arızaları ve yangın riski taşıyan alanlar, yangın oluşmadan belirlenir.
- **Pasif koruma denetimi:** Tadilat sonrası açılan ve yeniden kapatılmayan geçişler, model ile saha kayıtları karşılaştırılarak tespit edilir.

5.2. Yangın Anı: Gerçek Zamanlı Müdahale

- **Yayılım kestirimi:** Hava akımı, malzeme özellikleri ve yapı geometrisine göre yangının ve dumanın yayılımı, önceden hesaplanmış senaryolar ve anlık sensör verileri yardımıyla kestirilir.
- **Müdahale ekipleri için rehberlik:** İtfaiye ekipleri, içeri girmeden önce batarya odalarının, enerji kesme noktalarının, tehlikeli maddelerin ve olası mahsur kalan kişilerin konumunu dijital ikiz üzerinden görebilir.
- **Dinamik tahliye yönlendirmesi:** Duman ve alevin yayılımına göre akıllı yönlendirme işaretleri güncellenerek güvenli kaçış yolları gösterilir.

5.3. Yangın Sonrası: Hasar Tespiti ve Kök Neden Analizi

- **Hasar değerlendirmesi:** Taşıyıcı sistemin ve bölmeleme elemanlarının gördüğü hasar dijital model üzerinde değerlendirilir.
- **Kök neden analizi:** Sensör ve BMS kayıtları kullanılarak yangının nerede ve nasıl başladığına ilişkin veriye dayalı analiz yapılır; bulgular tasarım ve bakım prosedürlerine geri beslenir.

Bu yönüyle dijital ikiz; IoT sensörleri, veri analitiği ve BIM teknolojilerini birleştirerek müdahale ekiplerinin ve tesis yöneticilerinin doğrudan göremedikleri alanlar hakkında karar desteği almasını sağlamaktadır. Ancak bu sistemlerin etkinliği sensör güvenilirliğine, verinin güncelliğine ve siber güvenlik önlemlerine bağlıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin enerji arz güvenliği ve mobilite vizyonu doğrultusunda, kritik enerji altyapılarında yangın güvenliği düzenlemelerinin güncellenmesi ve dijitalleştirilmesi bir gereklilik hâline gelmiştir. Çalışmada; lityum-iyon tabanlı BEDS ve EA şarj alanlarının ulusal mevzuatta özel olarak düzenlenmediği, erken uyarı için gaz salınımı algılamanın ve yanıcı gaz seyreltmesine yönelik havalandırma hesabının tasarımda belirleyici olduğu ve yangın durdurucu uygulamaların dijital olarak izlenmesinin işletme ömrü boyunca bölmeleme bütünlüğünü korumada etkili bir araç olduğu ortaya konmuştur.

Bu bulgulara dayanarak Tablo 2'de kısa, orta ve uzun vadeli adımlardan oluşan aşamalı bir yol haritası önerilmektedir. Teknik düzenlemeler, aktörler arası koordinasyon ve dijital izlenebilirlik üzerine kurulan bu yol haritasının uygulanması, yangın kaynaklı can ve mal kayıplarının ve ekonomik zararların azaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

Tablo 2: Kritik enerji altyapılarında yangın güvenliği için önerilen aşamalı yol haritası

Vade	Önerilen adımlar	İlgili paydaşlar
Kısa vade (0–2 yıl)	NFPA 855, UL 9540A ve TS EN IEC 62485-2 esaslı ulusal teknik kılavuzun yayımlanması; itfaiye ekiplerine yönelik BEDS ve EA yangını müdahale prosedürü ve eğitimi	ETKB, ÇŞİDB, TSE, itfaiye teşkilatları
Orta vade (2–4 yıl)	BYKHY'ye BEDS ve EA şarj alanlarına özgü hükümlerin eklenmesi; gaz salınımı algılama ve LFL esaslı havalandırma şartı; ulusal büyük ölçekli yangın testi altyapısının kurulması	ÇŞİDB, İçişleri Bakanlığı, EPDK, üniversiteler, akredite laboratuvarlar
Uzun vade (4 yıl ve üzeri)	Kritik enerji tesislerinde yangın durdurucu ve aktif sistemlerin BIM/dijital ikiz ortamında kayıt altına alınmasının zorunlu hâle getirilmesi; veriye dayalı risk değerlendirmesinin sigorta süreçleriyle ilişkilendirilmesi	ETKB, ÇŞİDB, sigorta sektörü, tesis işletmecileri

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; ÇŞİDB: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı; EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu; TSE: Türk Standardları Enstitüsü.

7. KAYNAKLAR

[1] FENG, X., OUYANG, M., LİU, X., LU, L., XİA, Y., HE, X., "Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review", *Energy Storage Materials*, 10, 246–267, 2018.

[2] SUN, P., BİSSCHOP, R., NİU, H., HUANG, X., "A review of battery fires in electric vehicles", *Fire Technology*, 56, 1361–1410, 2020.

[3] WANG, Q., PİNG, P., ZHAO, X., CHU, G., SUN, J., CHEN, C., "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery", *Journal of Power Sources*, 208, 210–224, 2012.

[4] LARSSON, F., ANDERSSON, P., BLOMQVİST, P., MELLANDER, B.-E., "Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires", *Scientific Reports*, 7, 10018, 2017.

[5] UL 9540A, "Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems", Underwriters Laboratories, 2019.

[6] NFPA 855, "Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems", National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2023.

[7] TS EN IEC 62485-2, "Sekonder bataryalar ve batarya tesisatları için güvenlik kuralları – Bölüm 2: Sabit bataryalar", Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2018.

[8] IEC 60079-10-1, "Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres", International Electrotechnical Commission, Geneva, 2020.

[9] NFPA 69, "Standard on Explosion Prevention Systems", National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2024.

[10] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, Sayı: 26735, 19.12.2007 (değişiklikleriyle birlikte).

[11] Otopark Yönetmeliği, Resmî Gazete, Sayı: 30340, 22.02.2018 (değişiklikleriyle birlikte).

[12] Şarj Hizmetleri Yönetmeliği, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Resmî Gazete, Sayı: 31797, 02.04.2022.

[13] GRİEVES, M., VİCKERS, J., "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems", *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, Springer, Cham, 85–113, 2017.

[14] 7579 sayılı Kanun, 3194 sayılı İmar Kanunu'nun yangın güvenliği kontrollerine ilişkin değişiklik hükümleri, Resmî Gazete, Sayı: 33261, 22.05.2026.

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Ergin Gençer, 1985 yılında Ankara'nın Polatlı İlçesinde doğmuştur. Polatlı Endüstri Meslek Lisesi'nden dereceyle mezun olmuş, Dokuz Eylül Üniversitesi'nde başladığı ön lisans eğitiminin ardından lisans öğrenimini Gazi Üniversitesinde tamamlamıştır. Makine Teknikerliği alanında ön lisans; Makine Mühendisliği, Makine Teknik Öğretmenliği ve İktisat alanlarında lisans derecelerine sahiptir. Lisansüstü öğrenimini Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda "Kalite Yönetim Sistemi ile İş Sağlığı ve İşçi Güvenliği Yönetim Sistemi" başlıklı teziyle tamamlamıştır. Hâlen T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda görev yapmaktadır.
2023 yılında kurucuları arasında yer aldığı Eğitim, Kültür, İş Birliği ve Projelendirme Derneği'nin (EKİP Derneği) Yönetim Kurulu Başkanı olarak Avrupa Birliği üyesi ülkelerdeki sivil toplum kuruluşları ve enstitülerle Erasmus+ başta olmak üzere çeşitli projeler yürütmektedir. Aynı zamanda, Polatlılı Bürokrat ve İş İnsanları Derneği (POBİAD) Denetim Kurulu Üyesi ve Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu Dış İlişkiler Kurulu Üyesi olan Gençer, mesleki ve sivil toplum faaliyetlerinin yanı sıra amatör denizcilik, yelken ve kürek sporlarıyla da ilgilenmektedir.
Uzman Doktor Serap Gençer ile evli ve bir çocuk babasıdır.

Evaluation of Next Generation Automatic Fire Suppression Systems from the Perspective of Reliability and Standards

CANBERK IZCI

ABSTRACT

Automation, remote control, continuous monitoring, and data driven decision-making mechanisms are becoming increasingly common in fire suppression systems. However, it is not sufficient for these technologies merely to function. In a fire event, they must operate reliably, remain controllable, tolerate failures, and be verifiable. For this reason, performance-based evaluation and standard-based approaches are becoming critical for next-generation automatic fire suppression systems.
For many years, these systems were evaluated largely through mechanical components, periodic inspections, and operating practices based on human intervention. However, fire safety needs are changing in industrial facilities, storage areas, and high-risk applications. Automation, remote control, continuous monitoring, sensor technologies, and data-driven decision-making mechanisms are becoming part of fire protection systems. This transformation requires fire suppression systems to be reconsidered not only in terms of design and installation, but also in terms of operational reliability, performance verification, maintenance continuity, cybersecurity, and system limitations.
This study examines the fundamental reliability and standard related requirements faced by next-generation automatic fire protection systems. It evaluates current technological developments in the literature together with standardization approaches emerging within the scope of NFPA, IEC, FM, and European Union regulations. In addition, the study discusses the impact of automatic testing, continuous monitoring, and digital verification practices on reliability, and highlights the determining role of standards in enabling new technologies to be used safely, verifiably, and acceptably.

Key words: system reliability, standardization and compliance, automatic fire protection systems

SUMMARY

The paper analyses next generation automatic fire protection systems regarding their reliability and standardisation. With automation, remote surveillance, regular testing, and connection becoming more widespread, the design and assessment of fire protection systems is also being transformed. The review includes the analysis of recent advancements in technology as well as the relevant standards and regulations, namely, NFPA, IEC 62443, FM 1330, and EU Cyber Resilience Act. What is important to note is that the safe introduction of new technologies is not just about innovation but also about verifying their reliability, performance and cybersecurity. Ultimately, trust in automatic fire protection systems is established through the verification of technology rather than the technology itself.

Introduction

Fire protection systems are among the essential components of modern industrial and commercial facilities in terms of protecting life safety, reducing property losses, and maintaining business continuity.

Sprinkler systems, fire pumps, fire detection systems, and other active fire protection solutions contribute to controlling fire at an early stage and preventing major losses. According to data shared by the National Fire Protection Association (NFPA), the risk of death in fires is significantly reduced in sprinkler-protected buildings, while property damage can be reduced by up to two-thirds depending on occupancy type.

However, the mere presence of a fire protection system is not sufficient. The system must be in operating condition when it is needed. From a fire protection engineering perspective, the key question is not only how effective the system is in theory, but whether it is truly ready to operate during a fire. This shows that one of the main issues in fire protection is not only system performance, but also the verification of system readiness.

In the traditional approach, the condition of fire protection systems is verified largely through periodic inspections, planned maintenance activities, and manual tests carried out by field personnel. However, as modern facilities become larger and more complex, checks performed only at certain intervals may be insufficient for continuously understanding system condition. A fire pump failure, a control valve being accidentally closed, or a critical component unexpectedly being out of service may remain unnoticed until the next scheduled inspection. For this reason, in recent years the fire protection industry has shown a clear shift from approaches based solely on periodic performance verification toward approaches based on continuous monitoring and automatic verification.
This transformation has accelerated with the integration of the Internet of Things (IoT), advanced sensor technologies, remote monitoring platforms, automatic testing systems, and data analytics applications into fire protection systems. Current studies show that the use of connected systems in fire safety is increasing, and that real-time data collection, remote notification, automatic testing, and condition monitoring capabilities are becoming key elements of next-generation fire protection approaches. In this way, system condition can be monitored not only at specific points in time, but throughout the operating period.

However, the advantages provided by digitalization and automation also introduce new engineering questions. Does the fact that a system can be monitored remotely mean that it is reliable? What performance criteria must automatic testing systems meet in order to replace manual tests? How do communication failures, sensor failures, or software-related problems affect system reliability? How should cybersecurity requirements be defined for connected fire protection systems? These questions show that technological development in the fire protection industry is not limited to the emergence of new products; how these products are evaluated, verified, and accepted within the scope of standards is also becoming increasingly important.

Digitalization and Reliability Discussions in Fire Protection Systems

Current studies on fire protection systems show that the industry is moving not only toward faster detection or more effective suppression technologies, but also toward understanding how these technologies should be evaluated in terms of reliability, verifiability, and system integrity. While the classical fire safety approach was long based on detection, alarm, manual intervention, sprinkler activation, and periodic maintenance practices, the Internet of Things, artificial intelligence, software-supported systems, hybrid sensors, remote monitoring, and automatic testing systems have increasingly become integrated into fire protection. A comprehensive literature review on IoT-based fire safety systems shows that studies in this field focus particularly on fire detection, fire localization, and evacuation processes, and that sensors, connected devices, and network architectures stand out as key elements supporting real-time fire management. At the same time, the same study notes that despite the expansion of these technologies, research gaps remain in areas such as dynamic system adaptability, data security, privacy, interoperability between different systems, and robust cybersecurity strategies [1].

An important aspect of this transformation is that fire safety systems are no longer considered only as passive systems that "detect" or "give an alarm," but as intelligent systems that collect data, interpret the development of an event, and in some cases take automatic action. The IoT-based fire safety literature emphasizes that sensor networks, wireless communication, real-time data collection, artificial intelligence, and machine learning can improve fire detection and event management performance. However, this also raises a new question for fire protection engineering: Does the ability of a system to collect data or be monitored remotely guarantee that it will operate reliably during a fire? Current discussions in the literature show that intelligent fire safety systems should be evaluated not only in terms of technological capability, but also in terms of communication reliability, data integrity, software behavior, and system response under fault conditions. Therefore, digitalization in fire protection systems is not merely an operational convenience; it also becomes a new engineering challenge in terms of performance verification and system reliability [2].

Next-Generation Fire Protection Technologies

Studies on automatic or intelligent fire suppression systems show that technological development is not limited to the detection side; the suppression function is also becoming more targeted and adaptive. In one study on an automatic fire safety system, an integrated platform was designed and experimentally validated, including hybrid detection, motorized ventilation, a 360° steerable nozzle, and targeted discharge of a clean extinguishing agent. According to the experimental results reported in that study, the system detected fire in an average of 5.8 seconds, achieved flame suppression within 13.2 seconds, and cleared 90% of smoke in under 95 seconds. The study also states that the system continued operating under a simulated cloud communication failure, confirming an architecture capable of maintaining local operation. This finding is important because it shows that next-generation fire suppression systems can be designed not only around a central cloud connection, but also with local decision-making and local control capabilities [3]. At the same time, it also shows that evaluating such systems only based on parameters such as suppression time or detection speed is not sufficient; communication interruption, false alarms, incorrect targeting, fail-safe behavior, and manual intervention capabilities must also be considered.

A recent review on image-analysis-based fire safety solutions similarly shows that fire robots, fire detection, fire suppression, aerial vehicles, and image-processing-based applications are developing together. That study notes that image-processing-based systems play an important role in improving effectiveness and efficiency, and that research focuses both on the technical aspects of fire robots and systems and on software and hardware development. This approach indicates a transition in fire suppression technologies from a classical mechanical-hydraulic system understanding toward more complex, multidisciplinary, and software-supported systems. Especially in systems involving automatic targeting or autonomous intervention, detection, classification, decision-making, and actuation come together within the same safety function [4]. Therefore, in next-generation automatic suppression systems, the evaluation question is no longer limited to "does the nozzle provide sufficient flow?" or "does the system operate at the specified pressure?" It also includes questions such as "does the system correctly detect the fire?", "does it target the correct area?", "what happens in the case of false activation or incorrect targeting?", and "are the system limitations clearly defined?"

Reliability and System Continuity

The reliability literature shows that fire protection systems cannot be evaluated only based on design or initial installation performance throughout their service life. A recent review on the reliability of automatic sprinkler systems states that these systems are among the most widely used fixed fire protection equipment, but that they can face numerous reliability problems during long-term service due to geographical and climatic differences, maintenance management during operation, and different failure modes. The same study examines reliability assessment methods, accelerated testing techniques, remaining life prediction, and standardization systems around the world, and emphasizes the need to develop reliability standards for fire protection facilities and equipment. This point indicates a critical research gap for automatic fire suppression systems. Suppression systems must be reliable not only at the moment they pass the initial performance test, but also after standing idle for long periods, after exposure to environmental effects, and after changes caused by maintenance conditions. Therefore, reliability in next-generation automatic systems requires multiple dimensions to be evaluated together, including component durability, software stability, sensor accuracy, communication continuity, and maintenance verifiability [5].

Field-based data on the effectiveness of fire protection systems also supports the importance of maintenance and system readiness. NFPA states that sprinkler systems are highly effective in terms of fire safety when properly designed, installed, and maintained; that the probability of death in a fire is significantly reduced in buildings with sprinklers; and that property damage can decrease substantially depending on occupancy type. However, the same source reports that in 79% of incidents in which sprinklers failed to operate, the system had been accidentally shut off, damaged, or had a lack of maintenance [6]. This data shows that the most critical issue in fire protection systems is often not the theoretical design capacity of the system, but whether the system is truly ready for service during a fire. In this context, automatic monitoring and testing systems can contribute to earlier detection of hidden impairments caused by human error or insufficient maintenance. However, for these technologies to be acceptable, it must be demonstrated that they can meet the purpose of manual inspection and testing processes in an equivalent manner.

At this point, NFPA's approach to automatic and remote inspection/testing provides an important framework. NFPA states that automatic and remote inspection and testing practices have gained momentum in recent years both in standards and in the field; that the 2024 edition of NFPA 915 has been published; and that NFPA 25 also contains provisions allowing such practices. Under NFPA 25, automatic inspection and testing is defined as inspection and testing activities performed through electronic devices or equipment installed for this purpose and located away from the system or component. However, NFPA emphasizes that it is not sufficient for automatic testing to be technologically possible. The equipment used must be verified as suitable for the relevant application, equipment failure must not adversely affect the operation of the fire protection system, and in the event of a failure the system must be able to generate a warning or trouble notification. This approach shows that automatic testing practices are not a simple alternative to manual tests; they are a separate verification process that must demonstrate that they can achieve the same safety objective at an equivalent level [7].

Cybersecurity and Reliability Requirements

One of the most important new risks brought by digitalization to fire protection systems is cybersecurity. Studies conducted by the NFPA Fire Protection Research Foundation show that fire protection systems are increasingly integrated with building management systems, IoT-based applications, and internet-connected infrastructures. Systems that previously operated independently have begun to interact with different technologies such as building automation, access control systems, video security systems, smoke

control systems, and special suppression systems. While this provides significant advantages in terms of data sharing, remote access, and communication between systems, it also introduces new cybersecurity risks. Studies indicate that this connected structure can create new vulnerabilities and that cyberattacks targeting fire protection systems may have serious consequences. In particular, system management units and interfaces connected to information technology and operational technology networks are considered among the most critical risk points. For this reason, cybersecurity in fire protection systems is no longer only the responsibility of IT departments; it has become an integral part of system reliability and operational continuity [8].

Cybersecurity risks arising in fire protection systems sometimes raise questions about the reliability of new technologies. However, from an engineering perspective, as with any technology, cyber risks cannot be completely eliminated. Just as the risk of failure in electrical systems, wear in mechanical equipment, or operator error in systems based on human intervention cannot be eliminated completely, cyber risks in connected fire protection systems cannot be reduced to zero. Therefore, the purpose of standards is not to eliminate risks entirely, but to reduce them to acceptable levels and to define common security requirements for all manufacturers.

This approach is clearly reflected today in European Union regulations. The European Union's Cyber Resilience Act (CRA) defines lifecycle cybersecurity requirements for products with digital elements and requires manufacturers to design products securely, manage vulnerabilities, and undergo conformity assessment procedures. The CRA entered into force on 10 December 2024, and its main obligations are expected to apply from 11 December 2027. For products within the scope of the CRA, a direct relationship is established between CE marking and cybersecurity requirements [8].

Since fire detection systems, remote monitoring platforms, connected alarm systems, and automatic testing solutions increasingly include software and communication infrastructure, CRA-like regulations are expected to directly affect the fire protection industry as well. This means that in the future, fire protection systems will need to be evaluated not only in terms of mechanical or hydraulic performance, but also in terms of secure communication, software integrity, vulnerability management, and lifecycle support.

This makes it necessary to include control authority, access levels, firmware/software integrity, communication security, and physical access controls in the performance evaluation of suppression systems that can operate automatically or remotely.
These considerations show that the fundamental issue in next-generation automatic fire suppression systems is not only developing technology, but verifying the reliability of that technology. For this reason, the number of standards and regulations addressing remote monitoring, automatic testing, and connected systems has rapidly increased in recent years.

Transition from Periodic Inspection to Digital Verification

One of the most important effects of digitalization in fire protection systems is that inspection and testing processes are no longer based solely on physical observation in the field, but are becoming processes that produce remotely verifiable data. This transformation does not simply mean "adding sensors to the system." The real change is that issues such as when the test was performed, where it was performed, which equipment was used, what data was collected, how that data was transmitted, how it was stored, and who is responsible for it are also becoming part of the scope of standards. Therefore, in next-generation fire protection systems, reliability is no longer associated only with mechanical or hydraulic performance, but also with the verifiability and traceability of test data.

A current example of this approach is NFPA 915, Standard for Remote Inspections and Tests. The 2024 edition of the standard addresses remote inspections and tests, automated inspection and testing applications, and remote condition monitoring together. It also defines the responsibilities of the building owner or authorized representative, service providers, organizations performing remote inspection and testing activities, and authorities having jurisdiction. One of the notable aspects of the standard is that it introduces requirements related to the verifiability of the data obtained during inspections. In this context, issues such as recording the location and time at which the data is collected, the data collection and communication methods used, the use of video, audio, and written records, and the protection, retention, and ownership of the data are also included in the standard. This shows that digitalization in fire protection systems is not limited to the use of new sensors or communication infrastructure. Today, the inspection activity itself is also becoming digital, and the reliability, traceability, and evidentiary value of the information obtained as a result of the inspection are gaining importance. In other words, the evaluation is no longer limited to whether the system operates; it also includes how reliable the information obtained about the system is.

This change is particularly important for automatic testing systems. NFPA explanations indicate that NFPA 25 includes provisions allowing automatic and remote inspection and testing applications, but that these applications must meet the purpose of traditional visual inspection and testing methods. Automatic inspection and testing is described as inspection and testing activities carried out through electronic devices or equipment installed for this purpose and located away from the system or component. It is also stated that automatic testing equipment must be approved for the relevant use, that equipment failure must not adversely affect the operation of the fire protection system, and that in the event of any failure the system must generate a trouble or warning notification. This approach demonstrates that automatic testing practices are not a simple alternative to manual testing; they are a separate verification process that must show they can fulfill the same safety objective in an equivalent manner.

Automatic Testing and Continuous Monitoring Requirements

This perspective is also clearly visible in FM 1330, developed for fire pump monitoring and automatic testing systems. FM 1330 requires monitored points to be recorded regularly and critical status changes to be reported within defined time limits. This requirement creates an important distinction: the fact that a system is “being monitored” is not considered sufficient; the monitoring function is expected to be verified through measurable criteria. Similarly, the standard defines standby power supply requirements, showing that system reliability depends not only on sensor or software accuracy, but also on power continuity and the visibility of fault conditions [9].

More importantly, FM 1330 focuses not only on the performance of automatic systems under normal operating conditions, but also on their behavior under different operating and fault scenarios. This approach shows that automatic testing applications are intended not merely to automate manual processes, but to make system behavior verifiable and reliable.

Cybersecurity in Digital Fire Protection Systems

As digitalization becomes more widespread in fire protection systems, the concept of reliability is no longer limited to mechanical or operational performance. In particular, because remote monitoring, connected alarm systems, and automatic testing solutions increasingly include software and communication infrastructure, cybersecurity is also becoming an integral part of system reliability.
This change is clearly reflected in the European Union’s Cyber Resilience Act (CRA). The CRA defines lifecycle cybersecurity requirements for products with digital elements and requires manufacturers to develop their products according to secure-by-design principles. This means that connected fire protection

systems will need to be evaluated not only in terms of performance, but also in terms of cybersecurity in the future.

In parallel with the CRA, the IEC 62443 standard also shows that reliability in connected and industrial systems is not limited to device performance alone. The standard emphasizes that elements such as access control, communication security, software integrity, and system architecture are integral parts of reliability. This approach shows that in next-generation fire protection systems, reliability should be evaluated not only based on detection or suppression performance, but also together with system behavior, communication continuity, cybersecurity, and fault management.

The main conclusion of this section is that the real innovation in digitalized fire protection systems is not simply collecting more data. The real innovation is that testing, monitoring, and control functions are becoming measurable, verifiable, and assessable through standards. Therefore, reliability in next-generation systems requires performance, verifiability, and cybersecurity requirements to be considered together.

Evaluation Through the Example of FM 1330

One of the important aspects of FM 1330 is that it does not treat fire pump monitoring and automatic testing systems merely as independent electronic monitoring equipment. While the standard expects the critical components used within the system to comply with the relevant existing standards for their own functions, it also evaluates the integrated behavior of these components within the fire pump system. This approach shows that in next-generation monitoring and testing systems, the reliability of not only the final device, but also the measurement, detection, control, power, and communication components that make up the device must be considered [9].

For example, within the scope of FM 1330, references are made to relevant FM standards for components such as pressure switches and transducers, level sensors, leak detectors, water flow meters, and water flow switches. This shows that for measurement elements used in fire pump monitoring systems, merely producing data is not sufficient; the data must be obtained through components that are reliable, repeatable, and suitable for the fire protection application.
However, FM 1330's evaluation approach is not limited to the component level. The standard refers to the relevant standards for sensors, measurement elements, and communication components used within the system and evaluates the ability of these components to operate together. This approach shows that in next-generation automatic systems, reliability depends not only on the final product, but also on the suitability of the components that make up the system.

This approach shows that standardization in digitalized fire protection systems is increasingly shifting from the question "does the product work?" toward the question "does the product behave safely and verifiably within the fire protection system to which it is connected?"

The Role of Standards in Reliability

When automatic fire suppression systems are discussed, the focus is often on the technologies used. The capabilities of technologies such as artificial intelligence, remote monitoring, sensor networks, or automatic testing systems are emphasized, while the question of whether these systems are reliable is often left in the background. However, from a fire protection engineering perspective, what matters most is not how advanced a technology is, but whether that technology operates safely, predictably, and verifiably.

At this point, standards play a critical role. The purpose of standards is not to create new technologies, but to define the conditions under which new technologies can be trusted. In other words, standards do not claim that a system is flawless. Instead, they define acceptable levels of performance, reliability, and safety, allowing the technology to be used in a controlled manner. This is also the common purpose of standards developed for mechanical equipment, electrical components, detection systems, or automatic control solutions used in fire protection systems.

This becomes even more important in automatic systems. In traditional systems, many functions are carried out under human supervision, whereas in automatic systems measurement, decision-making, notification, and in some cases intervention functions are carried out by the system itself. Therefore, reliability must be evaluated not only based on equipment performance, but also based on system behavior. Issues such as whether a sensor measures correctly, whether data is transmitted correctly, whether critical conditions are reported in time, whether fault conditions are visible, and whether the system affects the main fire protection function are integral parts of reliability.

When recent standards and regulations such as NFPA 915, the automatic testing approaches in NFPA 25, the IEC 62443 cybersecurity framework, the European Union Cyber Resilience Act, and FM 1330 are examined, a common approach can be observed. Although these documents address different technologies, they all seek to answer the same question: How can it be verified that the system operates reliably under the conditions for which it was designed?

From this perspective, the future of automatic fire protection systems will not be determined only by advances in sensors, software, or communication infrastructure. The determining factor will be the development of standards that define the performance, limitations, and behavior of these technologies under fault conditions. Technology does not create trust; trust is created through the verification of technology by standards. Therefore, the greatest barrier to the wider adoption of automatic fire suppression systems is not technological insufficiency, but the clear definition of the conditions under which these technologies can be trusted. Standards address precisely this need.

CONCLUSION

The studies, standards, and regulations examined in this paper show that the fundamental engineering problem in next-generation automatic fire suppression systems is no longer only the detection or suppression of fire. The key issue is defining under which conditions these systems can be considered reliable.

Automatic testing, continuous monitoring, remote access, and connected system architectures provide significant advantages in fire protection. However, performance verification, communication continuity, cybersecurity, and system behavior under fault conditions must also be evaluated. Therefore, the value of next-generation systems comes not only from their technological capabilities, but from the verifiability of those capabilities.

This study concludes that trust in automatic fire protection systems depends not on the technology used, but on the standards and verification methods that enable the evaluation of that technology. Technology will continue to evolve; however, the fundamental need underlying reliability will remain the same: demonstrating that the system will operate under the expected conditions. Therefore, the determining factor in the future will not be developing more complex systems, but developing methods that can demonstrate the reliability of those systems. In short, technology does not create trust; trust is created through the verification of technology.

REFERENCES

[1] AlQahtani, A. A. S., Sulaiman, M., Alshayeb, T., and Alamleh, H. (2025). From Inception to Innovation: A Comprehensive Review and Bibliome

[2] Lee, S.-J., Yun, H.-S., Sim, Y.-B., and Lee, S.-H. (2025). Design and Validation of an Edge-AI Fire Safety System with SmartThings Integration for Accelerated Detection and Targeted Suppression. Applied Sciences, 15(14), 8118. https://doi.org/10.3390/app15148118

[3] Loboichenko, V., Wilk-Jakubowski, G., Pawlik, L., Wilk-Jakubowski, J. L., Shevchenko, R., Shevchenko, O., Harabin, R., Kuchcinski, A., Fedorchuk-Moroz, V., Khmyrova, A., and Rushchak, I. (2025). Review of Advances in Fire Extinguishing Based on Computer Vision Applications: Methods, Challenges, and Future Directions. Sensors, 25(20), 6399. https://doi.org/10.3390/s25206399

[4] Xian, X., Song, B., Li, Y., Zhang, H., Zhu, N., and Shi, Y. (2025). A Review of Reliability Research on Automatic Sprinkler Systems. Fire Science and Technology, 44(9), 1256–1264. https://www.xfkj.com.cn/EN/Y2025/V44/I9/1256

[5] McGree, T. (2024). U.S. Experience with Sprinklers. National Fire Protection Association. https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/us-experience-with-sprinklers

[6] Mahoney, S. (2025). Automated and Remote Inspection and Testing of Water-Based Fire Protection Systems. National Fire Protection Association. https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/blogs/2022/08/08/automated-and-remote-inspection-and-testing-of-waterbased-fire-protection-systems

[7] Chevreaux, J., and Kirsanova, K. (2021). Cybersecurity for Fire Protection Systems. Fire Protection Research Foundation / NFPA. https://www.nfpa.org/education-and-research/research/fire-protection-research-foundation/projects-and-reports/cybersecurity-for-fire-protection-systems

[8] European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/2847 on Horizontal Cybersecurity Requirements for Products with Digital Elements (Cyber Resilience Act). Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/2847/oj/eng

[9] FM Approvals. (2024). FM 1330: Examination Standard for Fire Pump Monitoring and Automated Testing. Factory Mutual Research Corporation.

CURRICULUM VITAE

Canberk IZCI holds a bachelor's degree in electrical engineering and a master's degree in business administration from RWTH Aachen University. After working in the automation and textile industries, he joined FM Approvals, where he currently serves as a Business Development Engineer. His areas of expertise include fire protection, hazardous locations (HazLoc), industrial electrical equipment, cybersecurity, certification, and risk improvement solutions. His professional interests focus on system reliability, digitalization, automation, cybersecurity, and standards related to industrial and safety-critical systems. At FM Approvals, he is responsible for business development activities across Europe. He works closely with manufacturers, engineering organizations, and industry stakeholders to support product approval projects and promote the adoption of internationally recognized standards.

TARİHİ YAPILARDA YANGIN GÜVENLİĞİNİN KORUMA İLKELERİ EKSENİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Betül YILDIZ
Mustafa ÖZGÜNLER

ÖZET

Tarihi yapılar ve kültürel miras alanları, insanlığın ortak hafızasını ve uygarlık düzeyini yansıtan eşsiz varlıklardır. Ancak bu yapılar, geleneksel yapım teknikleri ve malzeme özellikleri nedeniyle yangın gibi yıkıcı afetler karşısında son derece savunmasızdır. Tarihi yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması; özgün mimari dokunun, estetik ve strüktürel katmanların korunması ile can ve mal güvenliğinin korunmasını önceleyen çağdaş standartların karşılanması arasında hassas bir dengenin kurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma, tarihi yapılarda yangın güvenliği problemini, uluslararası kabul görmüş dokuz temel koruma ilkesi; Minimum Müdahale (Minimum Intervention), Geri Döndürülebilirlik (Reversibility), Okunabilirlik (Distinguishability), Uyumluluk (Compatibility), Özgünlük (Authenticity), Tarihi Katmanlara Saygı (Palimpsest), Yerinde Koruma (In-Situ Preservation), Belgeleme (Documentation), Yaşatarak Koruma (Compatible Use) ve güncel risk yönetimi stratejileri ekseninde kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Çalışmada, Türkiye'deki yasal mevzuat (BYKHY) ile NFPA, BS ve CFPA-E gibi uluslararası standartlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, tarihi yapılarda kuralcı (prescriptive) kısıtlamaların, yapının tarihsel bütünlüğünü zedeleyebileceğini; bunun yerine yapının özgün dinamiklerini dikkate alan performansa dayalı yangın güvenlik yaklaşımlarının benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kültürel mirasın korunmasında risk yönetimini güçlendirecek stratejiler sunan bu çalışma, tarihi yapıların geleceğe güvenle aktarılması için koruma ilkeleri ile yangın güvenliği yaklaşımlarını buluşturan bütünleşik bir perspektif önermektedir.

Anahtar sözcükler: Tarihi yapılar, koruma ilkeleri, yangın güvenliği, risk değerlendirme

EVALUATİON OF FİRE SAFETY İN HİSTORİCAL BUİLDİNGS BASED ON CONSERVATİON PRİNCİPLES

ABSTRACT

Historical buildings and cultural heritage sites are unique assets that reflect the collective memory and civilizational progress of humanity. However, due to their traditional construction techniques and material characteristics, these structures are highly vulnerable to destructive disasters such as fire. Ensuring fire safety in historical buildings necessitates establishing a delicate balance between preserving the authentic architectural fabric, aesthetic values, and structural layers, and meeting contemporary standards that prioritize life and property safety.

This study comprehensively addresses the problem of fire safety in historical buildings within the framework of current risk management strategies and nine internationally recognized fundamental conservation principles: Minimum Intervention, Reversibility, Distinguishability, Compatibility, Authenticity, Palimpsest, In-Situ Preservation, Documentation, and Compatible Use. In this study, the legal legislation in Türkiye (BYKHY) is comparatively analyzed with international standards such as NFPA, BS, and CFPA-E. The analysis results reveal that prescriptive restrictions in historical buildings can compromise the historical integrity of the structure; instead, the adoption of performance-based fire safety approaches, which take into account the authentic dynamics of the building, is essential. By offering strategies to strengthen risk management in cultural heritage preservation, this study proposes an integrated perspective that bridges conservation principles with fire safety approaches to ensure the safe transmission of historical structures to future generations.

Keywords: Historical buildings, conservation principles, fire safety, risk assessment.

1. GİRİŞ

Kültürel mirasın temsilcisi olan tarihi yapılar, toplumların gelişim süreçlerini, sosyal ve kültürel kimliklerini, mimari anlayışlarını yansıtarak, medeniyetler arası köprü vazifesi yapan ortak somut değerlerdir. Taşınabilir ve taşınamaz kültür varlıkları, uygarlıkların geçmişle olan bağını geleceğe aktarırken, salt bulundukları coğrafyada değil, evrensel bir miras bilinci ile korunmalıdır. Koruma disiplini, tarihi yapıyı ve onu var eden çevresel bağlamı, sahip olduğu değerler bütünüyle korunarak ve geliştirilerek yaşatılmasını amaçlamaktadır [2].

Tarihi yapıları ve geleneksel kent dokularını tehdit eden en yıkıcı afetlerin başında yangın gelmektedir. Geleneksel yapım sistemleri, ahşap gibi yanıcı organik malzemelerin yoğun kullanımı, gizli boşlukların varlığı ve mekânsal kompartımanlama eksikliği gibi yapısal faktörler, bu binaların yangın karşısındaki kırılganlığını (vulnerability) modern yapılara kıyasla çok daha kritik bir boyuta taşımaktadır [3, 6]. Kontrolsüz bir yangın durumunda ortaya çıkan termal etkiler, yalnızca taşıyıcı sistemde strüktürel deformasyonlara yol açmakla kalmaz; aynı zamanda yapının özgün yapıyı yok ederek telafisi imkânsız kültürel kayıplara neden olur.

Günümüzde tarihi yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması; yapının fiziksel bütünlüğünün, özgün mimari dokusunun ve malzeme değerlerinin korunması gerekliliği ile çağdaş can ve mal güvenliği standartlarının karşılanması zorunluluğu arasında son derece hassas bir dengeye oturmaktadır [1]. Modern binalar için kurgulanan kuralcı (prescriptive) yangın yönetmeliklerinin tarihi yapılara doğrudan uygulanmaya çalışılması, genellikle yapının tarihi ve estetik kimliğine zarar veren müdahalelere yol açmaktadır. Bu bağlamda, koruma kuramları ile tam uyumlu, tarihi dokuyu zedelemeyen ve tasarımla bütünleşik esnek önlemlerin geliştirilmesi büyük bir gerekliliktir.

Bu çalışma, tarihi yapılarda yangın güvenliği stratejilerinin uluslararası koruma ilkeleri ekseninde nasıl şekillenmesi gerektiğini irdelemekte ve mevcut yapıların güvenliğinde koruma-güvenlik dengesini sağlayacak yasal ve tasarımsal yaklaşımları odak noktasına almaktadır.

2. TARİHİ YAPILARDA YANGIN GÜVENLİĞİ KAPSAMI ve YASAL DÜZENLEMELER

Dünya'da ve Türkiye'de birçok ikonik yapıda yıkıcı yangınlar meydana gelmiştir. Bu vakalar, yangınların çıkış nedenleri, yapı malzemelerinin yangın davranışı, müdahale süreçleri ve sonuçları açısından önemlidir. Tabloda, tarihi yapı yangınları sıralanmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1.Tarihi Yapı Yangınları

Yapı Görseli	*Yapı Künyesi*	*Tarih*	*Yangın Nedeni*	*Zarar*
	Windsor Şatosu (Windsor, İngiltere)	1992	Kaza	Yapının büyük salonunun ahşap tavanı çökmüştür. Simgesel anlamı olan Kraliyet özel şapeli ile 100'ü aşkın mekân zarar görmüştür.
	Haydarpaşa Garı (İstanbul, Türkiye)	2010	Elektrik kablo birleşimlerinin kısa devre yapması	Yapının çatısı ve 4.katı tamamen yanmıştır. Tuğla ve taş malzemede yapısal bozulma olurken, ahşap elemanlar yangında yok olmuştur.
	Galatasaray Üniversitesi (İstanbul, Türkiye)	2013	Elektrik kablolarının tutuşması	Binanın ahşap çatısı tamamen yanarak çökmüştür. Yangın sonucunda bina kullanılamaz hale gelmiş, üniversitenin yönetim ofisleri, bazı derslikleri ve tarihi rektörlük salonu zarar görmüştür.
	Brezilya Ulusal Müzesi (Rio de Janeiro, Brezilya)	2018	Elektrik kontağı	200 yıllık müze binası tamamen yanmış; 20 milyon eserin yaklaşık %92'sinin yok olduğu kaydedilmiştir.
	Notre-Dame Katedrali (Paris, Fransa)	2019	Tadilat sırasında elektrik kazası	Ahşap çatı ve 93 m'lik kule çökmüş; çatının üçte ikisi yok olmuştur. Bazı tonozların delinmesi sonucu iç mekânda zararlar oluşurken, ana taş yapı ve çan kuleleri kurtarılmıştır.

Tarihi yapılarda yangınların çıkış nedenlerinde; eskimiş veya hatalı elektrik tesisatları, ısıtma sistemleri, restorasyon, bakım ve onarım çalışmaları sırasında yeterli önlem alınmaması, kullanıcı ihmalleri ön plana çıkmaktadır [1]. İhmallerin yanı sıra, tarihi yapıların yangına karşı yüksek düzeyde hasar görebilirlik potansiyeline sahip olduğu bir gerçektir.

Geleneksel malzeme ile inşa edilmiş tarihi yapılarda, sıklıkla ahşap, kerpiç, bağdadi harç ve saman gibi yanıcı organik malzemelerin bulunması, yangın yükünü artıran faktörlerdendir. Dakikalar içinde tüm yapıyı saran alevler, binanın taşıyıcı sistemini etkileyerek strüktürel deformasyona ve geri dönüşü zor fiziksel hasarlara neden olmaktadır. Ayrıca, yapıların tavan oymaları, kalem işi süslemeleri, freskleri ve içinde barındırdığı nadir koleksiyonları, el yazması kitapları, tarihi mobilyaları ile arşiv belgeleri, yangında aldığı hasarla kültürel ve sanatsal kayba uğramaktadır. Öte yandan, yangına müdahale sırasında söndürme-soğutma evrelerinde ortaya çıkan yüksek ısı ve yoğun duman, yüzey malzemelerinde kalıcı is lekelerine, kimyasal bozulmalara, mikro çatlaklara dönüşmektedir. Yüksek basınçlı söndürme suları, tarihi ahşap elemanlarda çürümeye, kargir duvarlarda tuzlanmaya ve neme bağlı mikroorganizma oluşumlarına yol açarak, yangının doğrudan etkisinden daha büyük ikincil hasarlar üretebilmektedir [6].

2.1.Yangın Güvenliği Önlemleri

Yangın güvenliği, farklı bileşenlerin bir araya getirilmesi ile mümkündür. Yangının başlamasını önleyecek tehlike kaynaklarının, doğrudan yerinde çözümlenmesi atılacak ilk adımdır. İkincisi ise olası bir yangın karşısında yangının etkilerini sınırlamayı amaçlayan, yapısal sistem önlemlerinin alınmasıdır. Alınan önlemlerin hedefi, tehlikeleri en aza indirgeyerek can güvenliği ile mal varlığı korunumunu sağlamaktır.

Yangın güvenliği yaklaşımı; önleme, algılama/iletişim, kaçış, sınırlandırma ve söndürme olmak üzere beş temel ilke çerçevesinde şekillenmiştir [4]. Her yapı konumu, kullanım amacı, mevcut durumu, malzeme yapısı açısından kendine özgü riskler barındırırken, pasif ve aktif güvenlik önlemleri ile yangına karşı başarı sağlanabilmektedir. Ancak, pasif ve aktif sistemler, modern yapıların yangın güvenliğine yönelik bir dizi önlem sunmaktadır. Yangın riskini azaltmaya veya olası bir yangında yapı içinde yayılmasını geciktirerek güvenli tahliyeye olanak tanıyan mimari ve yapısal düzenlemeleri kapsayan pasif önlemler, tasarım kararlarında alınmalıdır. Bu durumda tarihi yapılar, yapıldıkları dönemin fiziksel sınırlarına uygun önlemlere ihtiyaç duymaktadır. Öte yandan, yangını erken aşamada algılayan, uyarı veren ve otomatik müdahale ile söndüren teknolojik donanımları içeren aktif önlemlerin tarihi yapılarda uygulanması, özgün mimari niteliklerle çelişebilmektedir. Dolayısıyla, tarihi yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması, yapılara özgü pasif ve aktif güvenlik önlemlerinin bütünleşik bir şekilde ele alınmasıyla sağlanabilir [1].

2.2. Tarihi Yapılarda Yangın Güvenliği Düzenlemeleri

Yangın güvenliği; modern yapılarda yönetmelik, standart ve kodların kural odaklı uygulanması ile sağlanırken, tarihi yapılarda yasal düzenlemelerin koruma kriterleriyle uyumlu yapıya özgü olması gereklidir. Uluslararası alanda tarihi yapılara özgü yangın güvenliğinin sağlanmasına yönelik düzenlemeler ve içerikleri Tablo 2 de yer almaktadır.

Tablo 2.Yangın Güvenliği Düzenlemeleri

Yasal Düzenleme/Rehber	*Kapsam-İçerik*
NFPA 909 (Code for the Protection of Cultural Resource Properties – Museums, Libraries, and Places of Worship-2021) (USA)	Müze, kütüphane ve ibadethane gibi kültürel miras niteliği taşıyan yapıların ve içerdikleri koleksiyonların yangına karşı korunması için gerekli olan yönetim, operasyon, bakım ve güvenlik uygulamalarını kapsar [9].
NFPA 914 (Code for Fire Protection of Historic Structures) (USA)	Tarihi yapıların özgün mimari dokusunu bozmadan can ve mal güvenliğini, miras koruma hedeflerini sağlamaya yönelik yangın koruma stratejilerini belirler. Kuralcı yaklaşımların yanı sıra performansa dayalı tasarım alternatifleri sunarak mevcut tarihi dokuya uyumlu çözümler geliştirilmesini amaçlar [8].
BS 7913- BS 9999 British Standards Institution (İngiltere)	Bu düzenlemeler, tarihi yapılarda yangın güvenliği iyileştirmeleri yapılırken yapının kültürel öneminin korunmasını merkeze alır. Yangın risk değerlendirmesi yapılarak, tarihi dokuya en az müdahale ile maksimum can ve mal güvenliğinin sağlanması hedeflenir [7].
CFPA-E (Confederation of Fire Protection Associations) (Europe)	Avrupa genelindeki tarihi binalarda yangın güvenliği yönetimi için temel prensipleri sunan rehber niteliğindedir. Risk değerlendirmesi, aktif ve pasif yangın güvenlik sistemlerinin tarihi yapıların hassasiyetlerine uygun olarak nasıl entegre edileceğini, günlük kullanım veya restorasyon sırasındaki güvenlik önlemlerini kapsar [10].
UNESCO - Fire Risk Management Guide (2024)	Dünya Mirası alanları için özel olarak geliştirilmiş olan bu rehber; yangın riskinin değerlendirilmesi, azaltılması ve acil durum müdahale planlaması stratejilerini kapsar [11].
ICOMOS - Fire Risk Guidance ICORP (2020)	ICOMOS Uluslararası Risk Hazırlığı Komitesi (ICORP) tarafından hazırlanan belge, tarihi yapıların özgünlüğünü ve bütünlüğünü bozmadan yangın güvenliğinin sağlanmasına odaklanırken; disiplinler arası iş birliğinin önemini vurgular [12].

Türkiye'de tarihi yapıların yangın güvenliği, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" (BYKHY) çerçevesinde değerlendirilmektedir. 2007 de yürürlüğe giren yönetmelikte 2012 yılında yapılan bir değişiklikle tarihi yapılar için özel bir bölüm (On birinci Kısım) eklenmiştir. Yönetmelik, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamında korunan tescilli yapıları "tarihi yapı" olarak tanımlamaktadır. Yönetmeliğe 2009 ve 2015 revizyonlarıyla eklenen "On Birinci Kısım: Tarihi Yapılar" (Madde 167/A, B, C) kapsamında bazı istisna ve ilkelere yer vermektedir [14-15].

- *Kurul Onayı Zorunluluğu (Madde 167/B):* Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda yapılacak yangın tesisatları için ilgili Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun uygunluk görüşünün/onayının alınması zorunludur. Projelendirmenin yapının özgün görsel ve fiziksel özelliklerini etkilemeyecek şekilde hazırlanması esastır.
- *Mevcut Merdivenlerin Kabulü*: Yapısal ve mekânsal değişiklik imkânının bulunmadığı tarihi tescilli binalarda mevcut merdivenler kaçış yolu olarak kabul edilir ve yangın güvenlik holü yapılması zorunluluğu aranmaz.
- *İşlev Sınırlamaları:* Taşıyıcı kolon ve kirişleri ahşap olan tarihi binaların zemin katı dışındaki katlarının hastane, huzurevi, anaokulu, ilköğretim okulu ve öğrenci yurdu olarak kullanılması kesinlikle yasaklanmıştır.
- *Ahşap Koruma ve Yalıtım:* Bir kattan fazla katı olan tarihi yapılarda ahşap taşıyıcıların restorasyon esnasında yangına en az 90 dakika dayanıklı olacak şekilde yalıtılması, elektrik tesisatlarının ise yangına en az 60 dakika dayanıklı çelik borular içerisinden geçirilmesi şart koşulmuştur.

BYKHY-2015, getirdiği bu özel bölüme rağmen genel olarak kuralcı bir yapıya sahiptir. Uluslararası standartlarda uygulanan performansa dayalı tasarıma, simülasyon temelli çözümlere ve aktif sistem entegrasyonlarına dair açıklayıcı ve detaylı uygulama yönergeleri sunmamaktadır.

3. KORUMA İLKELERİ VE YANGIN GÜVENLİĞİ

Kültürel mirasın korunması, özellikle II. Dünya Savaşı'nın yarattığı büyük yıkımların ardından insanlığın ortak sorumluluğu olarak kabul edilmeye başlanmıştır. UNESCO, ICOMOS ve Avrupa Konseyi gibi çatı kuruluşların öncülüğünde çok taraflı sözleşmeler ve tüzükler hazırlanarak koruma standartları evrenselleşmiştir.

1964 yılında kabul edilen Venedik Tüzüğü, tarihi yapıların korunması ve restorasyonu konusunda ilkesel yaklaşımlar geliştirerek koruma kuramına bir çerçeve çizmiştir. Ardından UNESCO Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi (1972) "kültürel miras", Amsterdam Bildirgesi (1975) ise bütünleşik koruma kavramını vurgulamıştır. 1994 yılında kabul edilen Nara Belgesi, koruma anlayışını somut ve somut olmayan değerler üzerine taşırken, Burra tüzüğü (1979-2013) katmanlı koruma yaklaşımlarını ortaya çıkarmıştır. Tüm bu çalışmalar temel koruma prensiplerinin referans belgeleri konumundadır [3].

3.1.Koruma İlkeleri ve Yangın İlişkisi

Uluslararası otoriteler tarafından kabul edilen dokuz temel koruma yaklaşımı, tarihi yapılar için düşünülen her türlü müdahalenin teknik ve felsefi sınırlarının temelini oluşturur [3].Tarihi yapıların yangından korunmasında en temel zorluk, yangın güvenlik önlemlerinin yapının tarihi, sanatsal ve mimari bütünlüğüne zarar vermeden entegre edilmesidir. Bu problemin çözümü hedefiyle, koruma ilkeleri, tarihi yapılara yönelik alınacak yangın güvenlik önlemleri ile ilişkilendirilerek sıralanmaktadır:

- **Minimum Müdahale (Minimum Intervention):** Tarihi yapıya müdahele edilmeden korunması, müdahele yapmak şart ise bunun, fiziksel ve estetik dokuya olabilecek en düşük seviyede tutulması, yapının kendi özgün elemanlarının korunması esastır.
- **Geri Döndürülebilirlik (Reversibility):** Yapıya entegre edilen yangın güvenlik sistemleri ve yapısal müdahaleler, gelecekte yapıya hiçbir zarar vermeden, özgün haline döndürülebilir nitelikte tasarlanmalıdır.
- **Okunabilirlik (Distinguishability):** Yapıya sonradan eklenen tüm yangın önlemleri ve yeni malzemeler, özgün tarihi dokuyu bozmamalı ve yapıdan görsel olarak kolayca ayırt edilebilmelidir.
- **Uyumluluk (Compatibility):** Kullanılacak yeni algılama ve söndürme sistemlerinin, tarihi yapının özgün malzemesi, strüktürü, estetiği ile fiziksel ve görsel olarak tam bir uyum içerisinde olması sağlanmalıdır.
- **Özgünlük (Authenticity):** Yapının tarihi, tasarımı, işçiliği, malzemeleri ve dönemsel niteliklerindeki özgünlüğün, yangın güvenliği sistemleri kurulurken korunması ve değerlerin zarar görmemesi esastır.
- **Tarihi Katmanlara Saygı (Palimpsest):** Tarihi yapının geçirdiği restorasyonlar ve dönemsel değişiklikler sonucu oluşan tüm tarihi katmanlara saygı gösterilmeli, yangın sistemi kurulurken bu eklere dikkat edilmelidir.
- **Yerinde Koruma (In-Situ Preservation):** Sanat eserlerinin, kalem işlerinin, fresklerin ve mimari süslemelerin, kendi konumlarını kaybetmeden yangın tehlikesine karşı aktif veya pasif sistemlerle korunması hedeflenmelidir.
- **Belgeleme (Documentation):** Yangın risk analizinden başlayarak, uygulanan tüm projelendirme adımlarının, sistem detaylarının ve müdahale projelerinin başlangıçtan itibaren eksiksiz belgelenmesi ve arşivlenmesi zorunludur.
- **Yaşatarak Koruma (Compatible Use):** Tarihi yapının yaşaması için işlevinin devam etmesi, yeniden işlevlendirme durumunda verilecek yeni işlevin yapının mimari karakteriyle uyumlu olması ve geleceğe aktarılması önemlidir.

3.2.Tarihi Yapılarda Yangın Risk Değerlendirmesi

Toplumun yaşam koşullarını olumsuz etkileyen her türlü aksaklık afet kapsamındadır [16]. Uluslararası kuruluşlardan, Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO), Uluslararası Kültür Varlıklarının Korunması ve Restorasyonu Çalışmaları Merkezi (ICCROM), Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS) kültürel miras hasarlarını da afet kapsamında özel bir kategoride incelemektedir.

Afet ve yangın risk değerlendirmesi süreçleri, kuruluşların geliştirdiği ilkesel çerçeveler ve rehberler doğrultusunda şekillenmektedir. Bu bağlamda hazırlanan Tablo 3, kültürel mirasın korunmasında öncü rol üstlenen UNESCO, ICOMOS ve ICCROM'un yangın risk yönetimine yönelik temel referans belgelerini, saptadıkları risk faktörlerini ve tavsiye ettikleri müdahale stratejilerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

İlgili stratejiler incelendiğinde; UNESCO kurumsal düzeyde Yangın Risk Yönetim Planı (FRMP) hazırlanması, yanıcı malzeme denetimi ve kompartımanlama gibi mekansal stratejileri tavsiye etmektedir [11]. Buna karşın ICOMOS, detaylı risk envanterlerinin çıkarılması ve tarihi dokunun özgünlüğüne zarar vermeyecek tahribatsız aktif sistemlerin entegrasyonuna ağırlık vermektedir [12]. ICCROM ise kriz anında itfaiye ekipleriyle koordinasyon, öncelikli eserler için değer odaklı tahliye planlaması ve kültürel mirasa yönelik "ilk yardım" stratejileri ile acil durum müdahale kapasitesinin artırılmasını vurgulamaktadır [5]. Söz konusu kuruluşların birbirini tamamlayan ilkeleri, mevcut ve tarihi yapılarda "performansa dayalı yangın güvenlik tasarımı" çalışmalarında uluslararası standartlardaki teorik altyapıyı oluşturmaktadır.

Tablo 3.Yangın Risk Değerlendirme Analizi

Kuruluş	*Referans Belge*	*Riskler*	*Tavsiye Edilen Müdahaleler*
UNESCO 2024	"Kültürel ve Doğal Mirası Yangından Korumak: Yangın Risk Yönetimi Rehberi" [11]	*Yangın risk planı yokluğu *Tutuşturucu kaynak ve yanıcı malzeme fazlalığı *Bölümlendirme eksikliği *Otomatik sistem eksikliği	*FRMP Hazırlanması (Fire Risk Management Plan) *Sıcak iş (lehim, kaynak vb.) denetimi *Yanıcı malzeme azaltımı *Kompartımanlama *Otomatik sistemlerin entegrasyonu
ICOMOS (1996-2022)	ICORP İlkeleri, ICOMOS Türkiye Bültenleri [12]	*Ahşap yapıların yüksek risk sınıfı *Elektrik ve yıldırım düşmesi riski *Bakım ve müdahale eksikliği *Müdahalelerin tarihi dokuya zarar verme riski	*Risk envanteri çıkarımı *Tarihi dokuya zarar vermeyecek aktif sistem önerisi *Geri döndürülebilir, modern yangın geciktirici kullanımı *Personel eğitimi ve düzenli tatbikatlar
ICCROM	"Kriz Zamanlarında Kültürel Mirasa İlk Yardım" [13]	*İtfaiye ve müdahale ekiplerinin tarihi yapıya yönelik davranmaması *Söndürme sırasındaki aşırı su/kimyasal hasarı *Tahliye planı eksikliği *Yangın sonrası ikincil hasarlar	*Kültürel mirasa "ilk yardım" eğitimlerinin verilmesi *Öncelikli kurtarılacak eserler/elemanlar için değer odaklı tahliye planı yapılması *İtfaiye ile ortak çalışma ve risk haritalaması *Yangın sonrası enkaz yönetimi ve kurtarma stratejileri

4. SONUÇ

Yangın, tarihi yapılar için geri döndürülmez kayıplara yol açan yıkıcı bir afet olmakla birlikte, yapıya özgü doğru stratejiler ve risk yönetimi ile etkileri minimize edilebilir bir tehdittir. Günümüzde modern yapılar için kurgulanan kuralcı (prescriptive) yangın yönetmeliklerinin tarihi yapılara standart bir şablonla uygulanması, yapının özgün değerleri, mimari kimliği ve evrensel koruma kuramları ile ciddi çelişkiler yaratmaktadır. Türkiye özelinde yürürlükte olan mevcut mevzuatın (BYKHY), kültürel mirasın korunmasını önceleyen bütünleşik bir bakış açısıyla ve uluslararası otoritelerin (UNESCO, ICOMOS, ICCROM) kabul ettiği risk yönetimi ilkeleri doğrultusunda geliştirilmesi önemlidir.

Özellikle geleneksel yapım tekniklerinin ve organik malzemelerin (ahşap, kerpiç vb.) karmaşık yangın davranışlarının doğru analiz edilebilmesi için, detaylı yangın envanterlerinin oluşturulması kritik bir gerekliliktir. Tarihi yapılarda "Minimum Müdahale" ve "Özgünlük" gibi temel koruma ilkelerinin zedelenmemesi adına, standart kuralcı sınırlamalar yerine, yapının mekânsal özelliklerini analitik bir biçimde değerlendiren performansa dayalı yangın güvenlik tasarım yaklaşımlarının entegre edilmesi gerekmektedir. İleri düzey hesaplamalı modellemeler ve yangın simülasyonları yardımıyla test edilebilecek bu performans odaklı çözümler, yapıda öngörülen fiziksel müdahaleleri en aza indirirken, güvenlik standartlarını en üst düzeye çıkaracaktır.

Sonuç olarak, medeniyetlere ev sahipliği yapmış zengin kültürel mirasımızın geleceğe güvenle aktarılabilmesi; mimarların koruma ve yangın güvenliği disiplinlerinde ortak çalışmasıyla, tarihi yapıların kendi "parmak izine" uygun, esnek ve performansa dayalı güvenlik yönergelerinin hayata geçirilmesine bağlıdır.

5. KAYNAKLAR

[1] Özgünler, M. (2018). "Tarihi Binalarda Yangına Karşı Korunma ve Mevzuatın İrdelenmesi". *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 14-21.
[2] Ahunbay, Z. (2017). *Tarihi çevre koruma ve restorasyon* (9. baskı). İstanbul: YEM Yayın.
[3] Feilden, B. M. (2003). *Conservation of Historic Buildings*. Routledge
[4] Sunar, Ş. (1988). *Yangından Korunma ve Bina Yangın Güvenliği Önlemleri Ders Notları*. T.B.M.M. Genel Sekreterliği, Milli Saraylar Daire Başkanlığı Yayınları, Ankara, ss. 5-40.
[5] Stovel, H. (1998). Risk Preparedness: A management manual for World Cultural Heritage. ICCROM, Rome
[6] Granda, S., & Ferreira, T. M. (2019). "Assessing Vulnerability and Fire Risk in Old Urban Areas: Application to the Historical Centre of Guimarães". *Fire Technology*, 55(1), 105–127.
[7] British Standards Institution (BSI). (2013). *BS 7913:2013 - Guide to the Conservation of Historic Buildings*. London: BSI.
[8] National Fire Protection Association (NFPA). (2023). *NFPA 914: Code for Fire Protection of Historic Structures*. Quincy: NFPA.
[9] National Fire Protection Associa,tion (NFPA). (2021). *NFPA 909: Code for the Protection of Cultural Resource Properties - Museums, Libraries, and Places of Worship*. Quincy: NFPA.
[10] Avrupa Yangından Korunma Dernekleri Konfederasyonu (CFPA-E). (2021). *CFPA-E Guideline No 30:2021 F - Basic Principles of Fire Safety of Historic Buildings*.
[11] UNESCO. (2024). *Fire risk management guide: Protecting cultural and natural heritage from fire*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
[12] ICOMOS ICORP. (2020). *Fire risk guidance*. International Council on Monuments and Sites, International Scientific Committee on Risk Preparedness
[13] ICCROM. (2018). *Kriz zamanlarında kültürel mirasa ilk yardım: El kitabı* (A. Tandon). Uluslararası Kültür Varlıklarının Korunması ve Restorasyonu Çalışmaları Merkezi.
[14] BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK, Resmî Gazete, 19 Aralık 2007, Sayı 26735
[15] 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 23.07.1983, Sayı: 18113.
[16] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD]. (2014). *Açıklamalı afet yönetimi terimleri sözlüğü*.

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ÖZGÜNLER

Mustafa Özgünler 1978 yılında başladığı İstanbul Galatasaray Lisesi'nden 1986 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. Mimarlık Bölümü'nden sırasıyla, Lisans (1990) ve Yüksek Lisans Derecesini (1994) almıştır. Aynı üniversitenin Mimarlık Anabilim Dalı- Yapı Bilgisi Programında doktora yapmış ve 2005 yılında da doktor ünvanı almıştır.

Yüksek Lisans tez başlığı; "Pasif Yangın Güvenlik Önlemlerinde Etkili Olan Tasarım Değişkenleri ve İlgili Mevzuatın İrdelenmesi" olup danışmanı Prof. Dr. Zerrin YILMAZ'dır. Aynı danışman ile "Yangın Kaçış Yollarında Kullanılan Duman Perdelerinin Duman Hareketine Etkisinin Belirlenmesi İçin Bir Yöntem Önerisi" başlıklı doktorasını yapmıştır.

Mustafa ÖZGÜNLER, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde sırasıyla,1991-2005 Ar. Gör, 2005-2009 Dr. Ar. Gör. olarak görev yapmıştır. 2009 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesinde Yrd. Doç. kadrosunda çalışmaya başlayan Mustafa ÖZGÜNLER 2012 yılında Doçent unvanı almış ve 2018 yılında aldığı Prof. Dr. Unvanı ile halen aynı bölümde; mimarlık bölüm başkanlığı görevinin yanı sıra, yangın güvenliği, fiziksel çevre kontrolü ve enerji etkin sürdürülebilir yapı tasarımı konularında yaptığı çalışmalar ile akademik hayatına devam etmektedir.

Betül YILDIZ

Yüksek Mimar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık eğitimini tamamladıktan sonra lisansüstü eğitimini aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda tamamlamıştır. Kendi kurduğu mimarlık ofisinde firma yetkilisi olarak profesyonel tasarım ve uygulama hizmetleri vermeye devam etmektedir. Akademik çalışmalarını Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Yapı Fiziği ve Malzemesi Doktora Programı'nda sürdürmektedir. Temel araştırma alanları arasında; tarihi yapılarda performansa dayalı yangın güvenlik tasarımı, kültürel mirasın korunması, yangın risk yönetimi değerlendirmeleri bulunmaktadır.

MEVCUT VE TARİHİ YAPILARDA YANGIN GÜVENLİĞİ YÖNETİMİNDE MEVZUAT EKSİKLİKLERİ VE UYGULAMA ZORLUKLARI

Ayşe Selin TÜRKMEN AGUŞ
Semih Göksel YILDIRIM

ÖZET

Mevcut ve tarihi yapıların büyük bir bölümü, inşa edildikleri dönemin teknik imkânları ve tasarım anlayışları nedeniyle güncel yangın güvenliği yönetmeliklerine tam uyum sağlayamamaktadır. Türkiye'de yürürlükte olan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", esas olarak yeni yapılacak binalar için kurgulanmış kuralcı (prescriptive) bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak tarihi yapılarda koruma kararları, yapısal müdahale kısıtları ve mimari sınırlamalar, bu kuralcı yaklaşımın doğrudan uygulanmasını çoğu zaman imkânsız kılmaktadır. Bu durum uygulamada, yapının yangın güvenliği açısından çoğunlukla uzman görüşüne dayalı, öznel ve vaka bazlı karar verilmesine yol açmaktadır. Uluslararası literatür incelendiğinde; International Existing Building Code (IEBC) ve NFPA 101 gibi standartların, mevcut yapılar için "eşdeğerlik" (equivalency) ve "performans tabanlı" yaklaşımları kullanarak daha esnek ve bilimsel karar mekanizmaları sunduğu görülmektedir. Bu çalışma, Türkiye'de mevcut ve tarihi yapılarda yangın güvenliği alanında karşılaşılan mevzuat eksiklikleri ve uygulama zorluklarını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, uluslararası yangın güvenliği yaklaşımlarının Türkiye'ye nasıl uyarlanabileceği ele alınmakta ve yapıların mimari özelliklerini korurken güvenliği sağlayan performans tabanlı bir risk değerlendirme yöntemine ihtiyaç olduğu ortaya konmaktadır. Elde edilen bulgular, tasarımcılar ve karar vericiler için sayısal verilere dayalı bir değerlendirme aracı geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Yangın güvenliği, mevcut yapılar, tarihi yapılar, performans tabanlı tasarım, risk değerlendirme

Deficiencies in Legislation and Implementation Challenges in Fire Safety Management of Existing and Historic Buildings

ABSTRACT

A significant proportion of existing and historic buildings are unable to fully comply with current fire safety regulations due to the technical capabilities and design philosophies of the era in which they were constructed. The 'Regulation on the Fire Protection of Buildings (Turkish Fire Code)' currently in force in Türkiye adopts a prescriptive approach designed primarily for new buildings. However, conservation decisions, structural intervention constraints and architectural limitations in historic buildings often make the direct application of this prescriptive approach impossible. In practice, this leads to fire safety decisions for the building being largely based on expert opinion, subjective and case-by-case. A review of the international literature reveals that standards such as the International Existing Building Code (IEBC) and NFPA 101 offer more flexible and scientifically grounded decision-making mechanisms for existing buildings by utilising 'equivalence' and 'performance-based' approaches. This study aims to examine the regulatory gaps and implementation challenges encountered in the field of fire safety in existing and historic buildings in Türkiye. The study examines how international fire safety approaches can be adapted to Türkiye and highlights the need for a performance-based risk assessment method that ensures safety whilst preserving the architectural characteristics of buildings. The findings indicate that a data-driven assessment tool needs to be developed for designers and decision-makers.

Key words: Fire safety, existing buildings, historical buildings, performance-based design, risk assessment

1. GİRİŞ

Türkiye'deki mevcut ve tarihi yapı stoğunun önemli bir bölümü, inşa edildikleri dönemin yapım teknikleri, malzeme imkânları ve o döneme ait mevzuat çerçevesi nedeniyle günümüzde yürürlükte olan yangın güvenliği yönetmeliklerinin gerektirdiği koşulları tam olarak karşılayamamaktadır. Bu yapıların önemli bir kısmını oluşturan tarihi eserlerde durum daha da karmaşık bir hal almaktadır; zira burada yangın güvenliği gereklilikleri, kültürel mirasın korunmasına yönelik yasal ve mimari sınırlamalarla doğrudan çatışmaktadır. Cephede veya iç mekânda görünür müdahalelere izin verilmemesi, özgün malzemenin korunması zorunluluğu gibi kısıtlar, BYKHY'de yer alan kuralcı (prescriptive) nitelikteki yönetmelik hükümlerinin harfiyen uygulanmasını çoğu zaman fiilen imkânsız kılmaktadır.

Bu uyuşmazlık, uygulamada yangın güvenliğine ilişkin kararların önceden tanımlanmış, ölçülebilir kriterlere göre değil; ilgili idarenin, itfaiye teşkilatının ve Koruma Kurulu'nun kurumsal takdirine ve konu uzmanlarının öznel değerlendirmelerine dayalı olarak, vaka bazında alınmasına yol açmaktadır. Bu durum hem karar süreçlerinin öngörülebilirliğini azaltmakta hem de farklı yapılar için farklı düzeylerde yangın güvenliğine dair uygulamalar ile risk doğurmaktadır.

Uluslararası literatür incelendiğinde, bu sorunun bazı ülkelerde sistematik biçimde ele alındığı görülmektedir. International Existing Building Code (IEBC) ve NFPA 101 (Life Safety Code) gibi standartlar, mevcut ve tarihi yapılar için "eşdeğerlik" (equivalency) ve "performans tabanlı" değerlendirme yaklaşımlarını kullanarak, kuralcı hükümlere birebir uyulamadığı durumlarda dahi güvenlik düzeyinin mühendislik esaslı ve büyük ölçüde ölçülebilir yöntemlerle belgelenmesine imkân tanımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de mevcut ve tarihi yapılarda yangın güvenliği alanında karşılaşılan mevzuat eksikliklerini ve uygulama zorluklarını ortaya koyarak; IEBC ve NFPA gibi uluslararası standartların benimsediği yaklaşımların Türkiye mevzuatına ne ölçüde ve nasıl uyarlanabileceğini tartışmaktır. Bu doğrultuda çalışmanın ikinci bölümünde Türkiye'deki mevcut mevzuat incelenmekte, üçüncü bölümde uluslararası standartlar ele alınmakta, dördüncü bölümde bu standartların Türkiye'ye uyarlanabilirliği tartışılmakta ve son bölümde elde edilen bulgular değerlendirilerek performans tabanlı bir risk değerlendirme aracına duyulan ihtiyaç ortaya konmaktadır.

2. TÜRKİYE'DE MEVCUT VE TARİHİ YAPILARDA YANGIN GÜVENLİĞİ MEVZUATI

Türkiye'de yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), yapılarda alınacak yangın güvenliği tedbirlerini ayrıntılı ve kuralcı (prescriptive) hükümlerle düzenlemektedir. Yönetmelik yapıları üç ana kategoriye ayırmaktadır: yönetmeliğin yürürlüğe girdiği 19.12.2007 tarihinden sonra ruhsat alan "yeni yapı", bu tarihten önce ruhsatlandırılmış veya inşası tamamlanmış "mevcut yapı" ve 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu kapsamında tescilli "tarihi yapı" [1,2]. Bu ayrım, yönetmeliğin mevcut ve tarihi yapılara kısmi bir esneklik tanıdığını göstermekle birlikte, esnekliğin sınırlı ve büyük ölçüde istisna niteliğinde kaldığı görülmektedir.

2.1 Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in Kuralcı Yapısı — Esas Olarak Yeni Yapılar İçin Kurgulanmış Olması

Yönetmeliğin Onuncu Kısmı, mevcut yapılarda uygulanacak hükümleri düzenlemektedir (madde 138-167). Bu kısmın temel mantığı, yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden önce dönemin mevzuatına uygun olarak yangın tedbiri alınmış yapılarda ilave tedbir alınmamasının esas olduğu, ancak kullanım amacı değişikliği, ilave çıkış gerekliliği veya elektrik tesisatı yenilemesi gibi belirli durumlarda güncel hükümlere kısmen uyum sağlanması gerektiği yönündedir [1]. Örneğin madde 141, kaçış merdiveni yetersizliği bulunan mevcut binalarda bina sahibinin ilave çıkış veya kaçış merdiveni yaptırmasını zorunlu kılarken, komşu parsellerle ortak çözümler üretilmesine de imkân tanımaktadır. Bu tür hükümler, yönetmeliğin mevcut yapılar için noktasal istisnalar getirdiğini, ancak sistematik ve performansa dayalı bir değerlendirme çerçevesi sunmadığını ortaya koymaktadır.

2.2 Mevcut Yapılar Açısından Mevzuat Boşlukları

Yönetmeliğin Onbirinci Kısmı (madde 167/A-C), tarihi yapılara özgü hükümleri düzenlemektedir [1]. Madde 167/A'ya göre, 2863 sayılı Kanun kapsamında tescilli yapılar tarihi yapı sayılmakta [1, 2]; madde 167/B, tarihi yapılarda alınacak tedbirlerde Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun görüşünün alınmasını ve tedbirlerin yapının korunmasını esas alacak, fiziki ve görsel bakımdan zarar vermeyecek şekilde tasarlanmasını öngörmektedir [1]. Madde 167/C ise, aksi belirtilmedikçe tarihi yapılarda mevcut yapılara ilişkin Onuncu Kısım hükümlerinin uygulanacağını, ayrıca ahşap taşıyıcı sistemli tarihi yapılarda restorasyon sırasında ana taşıyıcıların en az 90 dakika yangına dayanıklı hale getirilmesi ve fiziki/görsel değişiklik imkânı bulunmayan durumlarda mevcut merdivenin kaçış merdiveni olarak kabul edilmesi gibi somut fakat sınırlı sayıda istisnai hüküm getirmektedir [1]. Bu noktada dikkat çeken husus, yönetmeliğin mevcut yapılara ilişkin boşluğu istisna hükümleriyle kapatmaya çalışmasıdır; ancak bu istisnalar, karşılaşılabilecek her yapı tipolojisini ve müdahale senaryosunu kapsayacak genel bir çerçeve sunmamaktadır. Örneğin, çelik veya yığma taşıyıcı sisteme sahip tarihi yapılar için ahşap yapılara benzer somut bir asgari performans kriteri tanımlanmamıştır; bu da uygulamada belirsizliğe yol açmaktadır.

2.3 Tarihi Yapılar Açısından Uygulama Kısıtları (Koruma Kararları, Yapısal Müdahale Sınırları)

Bu hükümler birlikte değerlendirildiğinde, BYKHY'nin tarihi yapılara yaklaşımının, sistematik bir performans değerlendirmesinden çok, madde bazlı ve sınırlı sayıda istisnadan oluştuğu görülmektedir. Yönetmelik, bir yapının hangi parametrelerde yetersiz kaldığını, bu yetersizliğin diğer önlemlerle ne ölçüde telafi edilebileceğini ve genel güvenlik seviyesinin nasıl ölçülebileceğini gösteren sayısal veya karşılaştırmalı bir mekanizma sunmamaktadır. Bu durum uygulamada kararların büyük ölçüde ilgili idare, itfaiye teşkilatı ve Koruma Kurulu'nun kurumsal takdirine bırakılmasına yol açmaktadır. Ayrıca, koruma kararlarının önceliği nedeniyle sprinkler sistemi, yangın kapısı veya cephe müdahalesi gibi bazı klasik önlemler tarihi yapılarda çoğu zaman uygulanamamakla birlikte, bunların yerine geçebilecek alternatif ya da telafi edici tedbirlerin neler olabileceği ve bu tedbirlerin yeterliliğinin nasıl belgeleneceği konusunda yönetmelikte açık bir yol gösterme bulunmamaktadır.

3. ULUSLARARASI STANDARTLARIN İNCELENMESİ

Uluslararası literatürde yangın güvenliği önlemleri genel olarak aktif ve pasif olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Aktif önlemler; söndürme sistemleri, yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman kontrol sistemleri gibi bir yangın anında devreye giren dinamik sistemlerdir, pasif önlemler ise yangına dayanıklı malzeme ve sistem özellikleri, yangın durdurucular, yangın duvarları, yangın kapıları ve kompartımanlama gibi yapının kendi strüktürüne entegre edilmiş unsurlardır [7]. En yüksek düzeyde koruma, bu iki strateji türünün birlikte ve bütüncül bir tasarım yaklaşımıyla kullanılmasıyla sağlanmaktadır [7]. Ancak tarihi yapılarda korunmuş bir yangın merdiveni eklenmesi veya taşıyıcı malzemelerin değiştirilmesi çoğu zaman uygun bir koruma/restorasyon kararı olarak görülmemekte, bu da aktif-pasif önlemlerin doğrudan uygulanmasını güçleştirmektedir [7].

3.1 IEBC — Müdahale Türleri (Repair/Alteration/Change Of Occupancy), Performance Compliance Methods, Puanlama/Eşdeğerlik Mantığı, Tarihi Yapılara Özel Hükümler

IEBC, mevcut yapılara yönelik müdahaleleri repair (onarım), alteration (tadilat) ve change of occupancy (kullanım amacı değişikliği) gibi kategorilere ayırarak, her tür için farklı uyum gereklilikleri tanımlamaktadır [3]. IEBC bir yapıyı, Ulusal Tarihi Yerler Sicili'nde (National Register of Historic Places - NRHP) listeli veya listelenmeye uygun olması, yerel/eyalet mevzuatınca tarihi olarak belirlenmiş olması ya da tescilli bir tarihi bölgeye katkı sağlayan bir yapı olarak sertifikalandırılmış olması hallerinden birine göre "tarihi yapı" saymaktadır [8]. Kod, tarihi yapılar dahil mevcut yapılar için üç ayrı uyum yöntemi sunar: kuralcı uyum, çalışma alanı uyumu ve performans uyumu; bu üç yöntem birbirinin yerine karma biçimde kullanılamaz,

tasarım ekibinin tamamı seçilen yöntemi izlemek zorundadır [8]. Yöntemlerin karşılaştırması Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. IEBC'nin üç uyum yöntemi (Costello, 2022'den [8] derlenmiştir.)

Yöntem	Temel Mantık	Tarihi Yapılar Açısından
Kuralcı Uyum (Prescriptive)	Yapı, müdahale öncesine göre IBC'ye daha az uygun hale getirilemez; yeni işler yeni yapı hükümlerini karşılar.	Genellikle güç uygulanır; nispeten yeni yapılar için uygundur.
Çalışma Alanı Uyumu (Work-area)	Yapı üç kademeli tadilat düzeyine göre alanlara ayrılır; iş kapsamı arttıkça uyum yükümlülüğü artar.	Tarihi yapılara özgü sınırlı istisna hükümleri içerir; esnek.
Performans Uyumu (Performance)	Sayısal puanlama sistemiyle değerlendirme; 21 unsur, 3 kategoride (yangın güvenliği, kaçış, genel güvenlik) puanlanır.	Tarihi yapıya özel hüküm yok ama IBC'ye büyük ölçüde uymayan yapılar için en fazla seçenek sunar.

Performans uyum yöntemi, yapının her yönünün fiziksel olarak incelenip değerlendirilmesinin çoğu zaman mümkün olmadığı gerçeğinden hareketle geliştirilmiş ve tarihi yapılara özgü ayrı bir hüküm içermemektedir. Yöntem, uyumluluk doğası gereği performans tabanlı ve yapıya özgüdür [8]. Bu yöntemde, yapının IBC'nin öngördüğü koşullardan önemli ölçüde saptığı durumlarda bile, diğer yöntemlere kıyasla daha fazla uyum seçeneği ortaya çıkabilmektedir [8]. Kuralcı uyum yöntemindeki hazır istisnalardan ikisi tarihi yapılar açısından özellikle dikkat çekicidir. Eğer kod görevlisi, rehabilitasyon çalışmasının belirgin bir yangın tehlikesi yaratmadığına kanaat getirirse, mevcut yangın dayanım eksikliğine karşılık otomatik söndürme sistemi kurulmasını yeterli görebilir. Benzer şekilde, ana giriş kapıları ve büyük merdivenler yapının tarihi karakterinin kilit unsurları olduğunda, kaçış için yeterli genişlik ve yükseklik bulunması koşuluyla mevcut kapı ve merdiven ölçüleri korunabilir [8].

3.2 NFPA 101 (Life Safety Code) + NFPA 914/909 — Performans/Eşdeğerlik Prensipleri, Kültürel Varlıklara Özel Yaklaşım

NFPA 101, mevcut yapılar için "equivalency" ilkesini benimser. Kuralcı hükümlere tam uyum sağlanamadığında, eşdeğer düzeyde güvenlik sağlandığı mühendislik analiziyle gösterilirse alternatif çözümler kabul edilebilir [4]. NFPA 914, tarihi yapıların korunmasına özgülenmiş olup tarihi doku ile güvenlik gerekliliği arasında denge kurmayı amaçlar [5]. NFPA 909 ise müze, kütüphane ve ibadethane gibi kültürel varlıklara özgü koruma yaklaşımlarını ele alır [6]. NFPA 914 uygulanırken proje hedefleri; yangının başladığı yerden uzaktaki kullanıcıları koruyacak şekilde tahliyenin sağlanması, yangın sırasında yapısal bütünlüğün korunması ve paydaşların yaşam güvenliği ile tarihi dokunun korunmasına ilişkin hedeflerinin birlikte karşılanmasını içerir [8]. Standart, tarihi yapının benzersiz yangın tehlikelerinin belirlenmesi, tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi ve bu seçeneklerin hedeflere uygunluğunun değerlendirilmesinden oluşan bir süreç izlenir ve kuralcı gerekliliklerin karşılanması, eşdeğerlik yoluyla ya da performans tabanlı bir çözümün geliştirilmesiyle sağlanabilir [8]. Bu üç doküman birlikte, hem yeni yapılan risk analizlerine dayalı bir esneklik hem de tarihi/kültürel değere özgü bir değerlendirme çerçevesi sunarak, IEBC'nin puanlama mantığı ile tamamlayıcı bir yapı ortaya koymaktadır [3-6, 8].

Tarihi yapılara özgü sayısal değerlendirme arayışının bir başka örneği, küçük ölçekli tarihi yapılar için geliştirilen Tarihi Yapı Yangın Risk İndeksi'dir (Historic Fire Risk Index, HFRI). Bu model, çok öz nitelikli değerlendirme (multiattribute evaluation) mantığıyla, her bir yangın güvenliği parametresine bir ağırlık ve bir not (grade) atayarak bunların çarpımlarının toplamından tek bir sayısal güvenlik skoru üretir [11]. HFRI'nin on bir parametresi ve göreli ağırlıkları Tablo 2'de sunulmuştur; bu ağırlıklar FSES ve BOCA gibi yerleşik risk indeksleme sistemlerinden "ters mühendislik" yoluyla türetilmiştir [11].

Tablo 2. Tarihi Yapı Yangın Risk İndeksi (HFRI) parametreleri (Watts ve Kaplan, 2001'den [11] uyarlanmıştır.)

Parametre	Ağırlık (%)
Yangın Önleme (Fire Prevention)	15
Kaçış / Tahliye (Egress)	13
Tarihi Önem (Historic Significance)	13
Düşey Boşluklar (Vertical Openings)	12
Otomatik Söndürme (Automatic Suppression)	8
Bina Yüksekliği ve Yapısı	8
Kompartımanlama	8
Yangın Yükü (Fuel)	8
Algılama ve Alarm	5
Acil Müdahale (Emergency Response)	5
Duman Kontrolü	5

3.3 Karşılaştırmalı Değerlendirme (IEBC vs NFPA vs Türkiye Mevzuatı: Müdahale Türü, Performans Yaklaşımı ve Tarihi Yapıya Özel Hüküm Karşılaştırması)

Tablodan görüldüğü üzere Türkiye mevzuatının uluslararası örneklerden temel farkı, mevcut ve tarihi yapılar için sistematik, sayısal ve karşılaştırılabilir bir değerlendirme mekanizmasının bulunmamasıdır. IEBC'nin puanlama mantığı ile NFPA'nın eşdeğerlik ilkesi, bu çalışmanın önerdiği performans tabanlı risk değerlendirme modeli için doğrudan referans niteliği taşımaktadır.

Tablo 3. BYKHY, IEBC ve NFPA standartlarının karşılaştırılması

Kriter	BYKHY (Türkiye)	IEBC	NFPA 101/914/909
Yaklaşım	Kuralcı, sınırlı istisnai esneklik	Kuralcı + performans puanlama	Kuralcı + eşdeğerlik
Müdahale sınıflandırması	Yok (madde bazlı istisna)	Var (repair/alteration/change of occupancy)	Kısmi
Sayısal değerlendirme	Yok	Var (puanlama)	Yok (mühendislik analizi)
Tarihi yapıya özel hüküm	Var, sınırlı (m.167/A-C)	Var	Var (914/909 özel)
Karar mekanizması	Kurumsal takdir	Puan + idari onay	Analiz + idari onay

4. TÜRKİYE'YE UYARLANABİLİRLİK VE PERFORMANS TABANLI YAKLAŞIM İHTİYACI

Uluslararası örneklerin ortak paydası, esneklik, eşdeğerlik ve sayısal karşılaştırılabilirlik ilkelerinin bir arada kullanılmasıdır. Kuralcı hükümlere birebir uyulamadığı durumlarda, alternatif önlemlerin toplam güvenlik seviyesine katkısı ölçülebilir bir yöntemle gösterilmekte ve karar bu ölçüme dayandırılmaktadır. Bu mantığın Türkiye bağlamına taşınması, BYKHY'nin mevcut istisna odaklı yapısının, yerini sistematik bir değerlendirme çerçevesine bırakması anlamına gelmektedir. Burada amaç yönetmeliğin kuralcı hükümlerini ortadan kaldırmak değil, bu hükümlere tam uyumun mümkün olmadığı durumlar için ek bir değerlendirme aracı sağlamaktır. Bu yaklaşımın Türkiye'deki tarihi yapı stoğu için özellikle uygun olmasının temel nedeni, mimari ve kültürel değeri koruma zorunluluğu ile yangın güvenliği gerekliliğini karşı karşıya getirmek yerine, ikisini aynı değerlendirme sürecinin parçası haline getirmesidir. Örneğin, cephede görünür bir yangın merdiveni eklenemeyen bir yapıda, bu eksiklik; algılama sistemleri, kompartımanlama, yanıcı yük azaltma veya işletme tedbirleri gibi başka önlemlerle bir ölçüde dengelenebilir ve bu dengenin yeterliliği sayısal bir yöntemle ortaya konabilir. Böylece koruma kararları ile güvenlik gereklilikleri arasında, bugünkü uygulamada olduğu gibi keskin bir çelişki değil, ölçülebilir bir denge kurulması mümkün hale gelir.

Bu noktada ortaya çıkan temel ihtiyaç, tasarımcılar, uzmanlar ve karar vericiler için kullanılabilir; yapının mimari ve yapısal özelliklerini, kaçış koşullarını, yangın yükünü ve alınabilecek telafi edici önlemleri bir arada değerlendiren, performans tabanlı ve sayısal verilere dayalı bir risk değerlendirme aracının geliştirilmesidir. Böyle bir aracın, IEBC'nin puanlama mantığı ile NFPA'nın eşdeğerlik ilkesinden beslenerek, Türki-

ye'deki mevzuat çerçevesine ve tarihi yapı stoğunun özgün niteliklerine uyarlanmış biçimde kurgulanması, bu çalışmanın devamında ele alınacak temel konuyu oluşturmaktadır.

Önerilecek modelin dayanacağı bir diğer temel ilke, koruma alanındaki asgari müdahale (minimal intervention) anlayışıdır. Yangın güvenliği iyileştirmeleri, yapının fiziksel dokusu ve görünümü üzerinde mümkün olan en az etkiyi yaratacak, tercihen geri döndürülebilir nitelikte olacak ve daha az müdahaleci seçenekler tüketilmeden uygulanmayacak şekilde seçilmelidir [9]. Bu çerçevede fiziksel müdahaleler; bakım ve işletme politikalarının iyileştirilmesi gibi asgari düzeyde müdahale gerektiren çözümlerden başlayıp, orta düzey müdahalelere (örneğin hassas olmayan alanlarda yangın ayrımı, kaçış yollarının iyileştirilmesi) ve ancak yeterli güvenlik başka türlü sağlanamadığında son çare olarak azami düzeyde müdahalelere (yeni merdiven, kapsamlı algılama/söndürme sistemleri) kademeli biçimde geçilerek değerlendirilmelidir [9]. Bu kademeli yaklaşım, ABD'de kırk yılı aşkın bir mevzuat gelişiminin de temel eğilimi olmuştur. Ancak söndürme ve algılama sistemlerinin 20-30 yılda bir yenilenme gerekliliği, her yenileme döngüsünde tarihi dokuya yönelik ek müdahaleler riskini sürekli kılmaktadır [10].

Önerilen performans tabanlı modelin tartışılmasında, düzenlemelerin etkinliğine dair kuşkucu bir bakış açısını da not etmek gerekir. Kamu tercihi (public choice) kuramına dayanan bazı çalışmalar, yangın güvenliği mevzuatının kamu yararını her zaman etkin biçimde gerçekleştirmeyebileceğini, düzenleyici kurumların, mesleki grupların ve sektör aktörlerinin kendi çıkarlarının da düzenleme sürecine dahil olabileceğini öne sürmektedir [12]. Bu doğrultuda İtalya'nın Torino kentinde yürütülen uzun dönemli bir vaka incelemesi, artan düzenleme yoğunluğuna rağmen kişi başına yapı yangını sayısında beklenen düşüşün gözlenmediğini, bunun bilgi sorunu ve kurumsal teşvik yapılarıyla ilişkilendirilebileceğini ileri sürmektedir [12]. Bu bulgular evrensel bir geçerlilik iddiası taşımasa da önerilecek performans tabanlı aracın yalnızca yeni kurallar eklemekle değil, uygulanabilirliği ve denetlenebilirliği yüksek, ölçülebilir sonuçlar üretebilen bir tasarımla geliştirilmesi gerektiğine işaret etmesi bakımından dikkate değerdir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de mevcut ve tarihi yapılarda yangın güvenliği yönetiminde karşılaşılan mevzuat eksiklikleri ve uygulama zorlukları incelenmiştir. Yapılan inceleme, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in esas olarak yeni yapılar için kurgulanmış kuralcı bir yaklaşım sunduğunu; ancak mevcut ve tarihi yapılar için getirilen hükümlerin ise sistematik bir değerlendirme çerçevesinden çok, madde bazlı ve sınırlı sayıda istisnadan ibaret kaldığını ortaya koymuştur. Bu durum, uygulamada yangın güvenliğine ilişkin kararların büyük ölçüde ilgili idarenin, itfaiye teşkilatının ve Koruma Kurulu'nun takdirine ve uzman görüşüne bırakılmasına, dolayısıyla öngörülebilirliği düşük, vaka bazlı bir karar mekanizmasına yol açmaktadır.

IEBC ve NFPA 101/914/909 gibi uluslararası standartların incelenmesi, bu sorunun "performans tabanlı" ve "eşdeğerlik" ilkelerine dayanan sistematik yaklaşımlarla ele alınabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşımlar, kuralcı hükümlere birebir uyulamadığı durumlarda dahi, alternatif önlemlerin toplam güvenlik düzeyine katkısının ölçülebilir biçimde belgelenmesine imkân tanımaktadır. Böylelikle tarihi yapılarda koruma öncelikleri ile yangın güvenliği gereklilikleri arasında keskin bir çelişki yerine, ölçülebilir bir denge kurulmasını mümkün kılmaktadır.

Bulgular, Türkiye mevzuatına, mevcut ve tarihi yapıların mimari özelliklerini koruyarak güvenlik düzeyini nesnel biçimde ortaya koyabilecek, performans tabanlı ve sayısal verilere dayanan bir risk değerlendirme aracının kazandırılması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmanın devamında, söz konusu aracın Türkiye'deki mevzuat çerçevesine ve tarihi yapı stoğunun özgün niteliklerine uyarlanmış biçimde geliştirilmesi hedeflenmektedir.

6. KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 19.12.2007, Sayı: 26735.
[2] 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 23.07.1983, Sayı: 18113.
[3] International Code Council, "International Existing Building Code (IEBC)", 2018 Edition.
[4] NFPA 101, "Life Safety Code", National Fire Protection Association, 2024 Edition.
[5] NFPA 914, "Code for Fire Protection of Historic Structures", National Fire Protection Association, 2023 Edition.
[6] NFPA 909, "Code for the Protection of Cultural Resource Properties – Museums, Libraries, and Places of Worship", National Fire Protection Association, 2025 Edition.
[7] Yaman M., Kurtay C., "Fire safety in historic buildings: A case study using the qualitative risk analysis method", Budownictwo i Architektura, 24(3), (2025), 63-78. https://doi.org/10.35784/bud-arch.7320
[8] Costello T.R., "Fire-Safety Approaches for Historic Buildings in the United States", APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, 53(1), (2022), 29-38.
[9] Kaplan M.E., "Considering Fire-Safety Improvements to Historic Buildings", APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, 34(4), (2003), 10-17.
[10] Kaplan M.E., "Safety and Building Codes: The Recent Past and Future for Historic Structures", APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, 40(3/4), (2009), 11-18.
[11] Watts J.M. Jr., Kaplan M.E., "Fire Risk Index for Historic Buildings", Fire Technology, 37, (2001), 167-180.
[12] Cobin J.M., "Theory review: Does fire safety regulation work? Lessons from Turin, Italy", Planning Theory, 13(2), (2014), 189-209. https://doi.org/10.1177/1473095213488772

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Ayşe Selin TÜRKMEN AGUŞ
Lisans eğitimini İstanbul Gelişim Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde tamamlamış olup hâlen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Etik Teknik bünyesinde mimar/yangın danışmanı olarak görev yapmakta, çalışmalarını yangın güvenliği ve tarihi yapıların korunması alanlarına yoğunlaştırmaktadır.

Semih Göksel YILDIRIM
Lisans eğitimini Anadolu Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde 1999 yılında tamamlamıştır. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırası ile 2003 ve 2010' da İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı' ndan almıştır. Akademik kariyerine Haliç Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak başlamış olup, İstanbul Arel Üniversitesi' nde Yard. Doç. Dr. olarak görev almıştır. Akabinde Amerika Birleşik Devletleri' nde Missouri University of Science and Technology' de misafir akademisyen ve part-time Yard. Doç. Dr. olarak öğretim üyeliği yapmıştır. Hâlen İstanbul Gelişim Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde Doç. Dr. unvanıyla görev yapmaktadır.

TARİHİ BİNALAR İÇİN YANGIN KOMPARTIMANI TASARIMININ PERFORMANSA DAYALI YAKLAŞIMLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Esma BİREKUL
Nuri SERTESER

ÖZET

Tarihi nitelikteki binalarda yangın emniyeti tasarımında en önemli uygulamalardan biri olan yangın kompartımanlarını oluştururken, korunması gereken özgün mimari ve yapısal özellikler nedeniyle hassas çözümler üretilmelidir. Hatalı uygulamalar binanın yangın emniyeti performansının düşmesine neden olurken, aynı zamanda mekansal bütünlüğe ve özgün karaktere zarar verebilmektedir. Tarihi binalarda yangın kompartımanları ile ilgili uygulamalar dünyanın çeşitli ülkelerinde bu binalara özgü düzenlenmiş kuralcı (prescriptive) ve performans temelli (performance-based) yaklaşımlarla yürütülmektedir. Kuralcı yaklaşımlar, yangın emniyeti için asgari bir çerçeve sunarken, performansa dayalı yaklaşımlar binanın özgün karakterini koruyarak bu çerçevenin ötesinde çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, tarihi binaların yangın kompartımanlarında performansa dayalı yangın emniyeti tasarımının nasıl ele alındığını incelemek ve bu yaklaşımın Türkiye'deki uygulamalardaki yerini değerlendirmektedir. Bu kapsamda, NFPA 914 ve NFPA 909 kodları incelenerek, Türkiye'deki yürürlükte bulunan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) ile karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır.

Elde edilen bulgular tarihi binalarda yangın kompartımanı tasarımında NFPA yaklaşımının Türkiye'deki BYKHY ile kıyaslandığında, performansa dayalı çözümler sunarak yangın emniyeti gerekliliklerini büyük oranda sağladığını göstermektedir. Türkiye'deki BYKHY ağırlıklı olarak kuralcı yaklaşım sergilediği ve tarihi binalara özgü uygulamaların sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, sürekli geliştirilmekte olan BYKHY'e tarihi binalara özgü performans bazlı yaklaşımların da entegre edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Tarihi binalar, yangın kompartımanları, performansa dayalı tasarım, NFPA 914, NFPA 909, yangın yönetmelikleri

AN EVALUATION OF FIRE COMPARTMENTATION DESIGN IN HISTORIC BUILDINGS FROM THE PERSPECTIVE OF PERFORMANCE-BASED APPROACHES

ABSTRACT

In fire safety design for historic buildings, creating fire compartmentations, one of the most important applications, requires delicate solutions due to the unique architectural and structural features that need to be preserved. Faulty practices can lead to a decrease in the fire safety performance of a building, while also damaging its spatial integrity and original character. In historic buildings, fire compartmentation practices are carried out in various countries around the world using prescriptive and performance-based approaches tailored to these structures. While prescriptive approaches provide a minimum framework for fire safety, performance-based approaches allow for the development of solutions that go beyond this framework while preserving the building's unique character.

The objective of this study is to examine how fire compartmentations in historic buildings are addressed within the scope of performance-based fire safety design and to evaluate the role of this approach in practices in Turkey. In this context, NFPA 914 and NFPA 909 standards were examined, and a comparative analysis was conducted with Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) currently in force in Turkey.

The findings indicate that, when compared to Turkey's BYKHY, the NFPA approach to fire compartmentation design in historic buildings largely meets fire safety requirements by offering performance-based solutions. It is understood that Turkey's BYKHY primarily adopts a prescriptive approach and remains limited in applications specific to historic buildings. Consequently, it is assessed that performance-based approaches specific to historic buildings should be integrated into BYKHY, which is currently undergoing continuous development.

Key words: Historic buildings, fire compartmentations, performance-based design, NFPA 914, NFPA 909, fire regulations.

1. GİRİŞ

Tarihi binalar, geçmiş dönemlere ait biçimsel özelliklerin yanısıra kullanım alışkanlıkları ve buna bağlı olarak mekansal kurguları da yansıtan yapılardır. Bu durum, farklı malzeme ve tekniklerin kullanımıyla ahşap-karkas, taş-tuğla yığma veya karma strüktürler gibi yapısal çeşitlilikler meydana getirmiştir. Ahşap döşemeler, duvar içi boşluklar, çatı araları, bacalar, kanallar ve sonradan açılmış tesisat yolları gibi bu binalarda yer alan bilinen ve bilinmeyen boşluklar, yangının görünür hacimlerin dışına çıkarak yatay ve düşey yönde ilerlemesine ve geri dönüşü olmayan kayıplara sebep olmaktadır. Ortaya çıkabilecek bu tür risklerin sınırlandırılabilmesi için en etkili pasif yangın önlemlerinden olan yangın kompartımanları tarihi binalara özgü olarak planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Yangın kompartımanı, belirli bir süre boyunca yangın ve dumanın farklı hacimlere geçişini sınırlayan bütünleşik bir sistemdir. Kompartımanı oluşturan duvar ve döşemenin yangına dayanımının yanı sıra bu duvar ve döşeme üzerinde yer alan kapı-pencere gibi açıklıklar, tesisat geçişleri, şaftlar, yapı derzleri, tavan ve döşeme boşlukları ile bu yapı elemanlarının birleşim noktalarında sızdırmazlık ve bütünlüğün devamlılığı sağlanmalıdır. Zira birleşim yerlerindeki herhangi bir zayıf nokta, yangın kompartımanının işlevini kaybetmesine neden olabilmektedir.

Tarihi binalarda yangın kompartımanı tasarımında "yangın emniyeti ve koruma" dengeli bir şekilde çözülmelidir. Fazla müdahale tarihi değerin kaybolmasına neden olabilirken müdahalesizlik ise binanın tamamen yok olmasına neden olabilir. Doğru uygulamaların yapılabilmesi ve denetlenebilmesi için yangın emniyeti ile ilgili düzenlemeler bulunmalıdır. Bu düzenlemeler, kuralcı veya performans temelli yaklaşımlarla farklılık gösterebilmektedir. Kuralcı yaklaşıma dayalı düzenlemeler, kompartımanın alanı, yangın dayanım süresi ve kullanılan malzemeler gibi önceden belirlenmiş asgari koşullar sağlarken, performans temelli yaklaşıma dayalı düzenlemelerde ise analiz, senaryolar, binaya özgü uygulamalar üzerinden değerlendirmeler yapılarak yangın emniyeti tasarımı yapılması beklenmektedir.

Bu çalışma, tarihi binalarda yangın kompartımanlarının performansa dayalı tasarımı açısından nasıl ele alındığını ve bu yaklaşımın Türkiye'deki yönetmelik içindeki yerini değerlendirmektedir. Çalışma kapsamında NFPA 909, NFPA 914 ve yürürlükteki BYKHY'de tarihi binalardaki yangın kompartımanı kriterleri karşılaştırılarak performansa dayalı tasarım yaklaşımı açısından incelenmiştir.

2. TARİHİ BİNALARDA YANGIN KOMPARTIMANI TASARIMINDA TEMEL YAKLAŞIMLAR

Yangın kompartımanı, yalnızca yangına dayanıklı bir duvarı değil; kompartımanı oluşturan duvar, döşeme ve bunların üzerindeki açıklıkların birlikte oluşturduğu yangına dayanımı kesintisiz bir hacmi ifade etmektedir. Kompartımanın performansı, hacmi oluşturan bütün bileşenlerin yangın süresince bütünlüğünü korumasına bağlıdır [1–4]. Dolayısıyla kompartımanın performansı, ana ayırıcı elemanın dayanımından çok, hacmin en zayıf bileşeni tarafından belirlenmektedir. Tarihi binalarda mevcut duvarların, döşemelerin ve mekansal

ayrımların kompartıman sınırı olarak kullanılabilirliği; yapı elemanlarının birleşimleri, duvar ve döşemedeki gizli boşluklar, çatı araları, şaftlar ve sonradan açılmış tesisat geçişleri gibi birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesine bağlıdır (Tablo 1).

Tablo 1. Tarihi binalarda yangın kompartımanı sınırının temel bileşenleri.

Yapı bileşeni	Kapsamı	Kompartıman sınırının sürekliliğinin sağlanması gereken noktalar
Duvar, döşeme ve çatı sistemleri	Kompartımanı çevreleyen düşey ve yatay yapı elemanları ile bunların birleşimleri.	Kompartımanlar ve farklı kullanım/tehlike alanları arasında; duvar-döşeme ve duvar-çatı birleşimlerinde.
Kapı ve camlı açıklıklar	Ayırıcı elemanlardaki kapı, cam ve bunlara ait çerçeve/kasa sistemleri.	Kompartıman sınırı üzerindeki açıklıklarda, sınırın gerekli yangın performansını sürdürecek biçimde.
Merdiven, asansör ve şaftlar	Katları birbirine bağlayan düşey sirkülasyon ve servis boşlukları.	Düşey açıklıkların çevresinde ve kat geçişlerinde, katlar arası yayılımı sınırlandıracak biçimde.
Tesisat geçişleri	Duvar ve döşemelerden geçen kablo, boru, kanal ve benzeri tesisatlar.	Kompartıman sınırını delen tesisat geçişlerinin çevresinde, ayırıcı elemanın sürekliliğini koruyacak biçimde.
Derzler ve gizli boşluklar	Yapı elemanı birleşimleri, hareket derzleri; duvar, tavan, döşeme ve çatı içi boşlukları.	Kompartıman sınırının birleştiği veya sonlandığı noktalarda ve sınırı aşan gizli yayılım yollarında.

Yangın kompartımanı tasarımına ilişkin yangın düzenlemelerinde yer alan kuralcı yaklaşım, kullanım sınıfı, bina büyüklüğü, kompartımanın alanı, yapı elemanlarının yangına dayanım süreleri ve açıklık korumayla ilgili belirli koşulların sağlanmasını gerektirmektedir. Bu yaklaşım, ilgili hükümlerin uygulanması ve asgari yangın emniyetinin sağlanarak denetimin kolaylaştırılması açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. Kuralcı yaklaşımın tarihi bir binaya uygulanabilirliği ile binanın kültürel mirasının korunması üzerindeki etkisi birlikte değerlendirilmediğinde, düzenlemelerdeki hükümler biçimsel olarak uygun ancak müdahale açısından binanın özgün yapısına uygun olmayabilir.

Performansa dayalı yaklaşımda ise yangın kompartımanı tasarımı; ulaşılması beklenen yangın emniyeti hedefleri için olası yangın senaryoları, teknik analizler ve kabul edilebilir performans düzeyleri olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım ile tarihi niteliğe sahip her bina yangın emniyeti performansı bakımından ayrı değerlendirilip binanın özgün karakteri korunarak gerekli yangın önlemlerinin alınması sağlanmaktadır. Performansa dayalı yaklaşım, düzenlemelerdeki kuralcı tutumun tamamen terk edilmesi anlamına gelmemektedir. Kuralcı hükümlerin referans oluşturmasıyla birlikte, özellikle standart çözümlerin uygulanamadığı tarihi binalarda alternatif çözümlerin ortaya konulması performansa dayalı değerlendirmeyle gerçekleşir [5,6].

3. NFPA 909 ve NFPA 914 KAPSAMINDA TARİHİ BİNALARDA YANGIN KOMPARTIMANI TASARIM İLKELERİ

NFPA 909 ve NFPA 914, tarihi ve kültürel nitelikteki binalarda yangın emniyetini farklı koruma odakları üzerinden ele alan ve ortak kapsama giren binalarda birlikte uygulanabilen kodlardır. NFPA 909, kültürel miras niteliğindeki binalar ile bunların içerik ve koleksiyonlarının; NFPA 914 ise tarihi binanın kendisini, kullanıcılarını ve mimari özelliklerini de koruyarak yangın emniyetinin sağlanmasına odaklanmaktadır [7,8].

3.1. NFPA 909:2025 (Kültür Varlıklarının Korunmasına İlişkin Kod – Müzeler, Kütüphaneler ve İbadet Yerleri)

NFPA 909, müze, kütüphane ve ibadethanelerle sınırlı olmaksızın kültür varlığı kapsamına giren binaları, bu binalardaki içeriklerin ve koleksiyonların yangına bağlı hasar ve kayıplara neden olabilecek her türlü koşuldan korumak için ilke ve uygulamaları düzenlemektedir [7].

Tarihi bir binanın müze, kütüphane veya ibadethane olarak kullanılması durumunda ise NFPA 909 ile birlikte NFPA 914 hükümlerinin de uygulanması öngörülmektedir. Bu kapsamda kompartımanlara ayırma; binanın ve koleksiyonların yangın, duman ve söndürme faaliyetlerinden kaynaklanan kayıplara karşı korunmasını

sağlayan pasif yangın emniyeti bileşenlerinden biri olarak ele alınmaktadır. NFPA 909'da kompartıman tasarımını doğrudan etkileyen hükümler Tablo 2'de kodun bölüm ve alt bölüm başlıklarıyla gösterilmektedir [7,8].

Tablo 2. NFPA 909:2025'te yangın kompartımanı tasarımını etkileyen hükümler [7]

Bölüm / madde	Madde içeriği	Kompartıman ilişkisi
CHAPTER 9 — NEW CONSTRUCTION, ADDITION, ALTERATION, RENOVATION, AND MODIFICATION PROJECTS (BÖLÜM 9 — YENİ YAPIM, EK, DEĞİŞİKLİK, YENİLEME VE MODİFİKASYON PROJELERİ)		
9.12 — Prescriptive-Based Option (Kuralcı Seçenek)		
9.12.6 — Compensatory Features (Telafi Edici Özellikler)		
9.12.6(4)	Bina alanlarını bölmek veya kazan, fırın ve depolama alanları gibi belirli tehlikeleri yapının geri kalanından ayırmak için, yangın ve dumanın yatay yayılımını sınırlayan yangına dayanıklı duvar ve kapıların telafi edici özellik olarak kullanılmalıdır.	Yatay ayırım
9.12.6(5)	Merdiven boşlukları, havalandırma şaftları ve diğer düşey açıklıkların yangın ve dumanın düşey yayılımını sınırlayacak yangına dayanıklı yapımla çevrelenmesini telafi edici özellik olarak ele alınır.	Düşey ayırım
9.12.6(6)	Duvar içlerinde, kiriş ve döşeme elemanları arasında ve yatay/düşey yangın bariyerleri boyunca yangın durdurucu ve yangın engelleyici uygulamalar kullanılmalıdır.	Gizli boşluklar / firestop
9.12.6(7)	Yangına dayanıklı elemanlarla oluşturulan yangına dayanıklı yapım sistemlerini telafi edici özellik olarak değerlendirilir.	Yangın dayanımı
9.12.8 — Fire Spread Control (Yangın Yayılımının Kontrolü)		
9.12.8.1	Yangına dayanıklı yapı elemanlarında oluşturulan yeni kapı, boru ve havalandırma kanalı açıklıklarının uygun yangın kapıları ve otomatik yangın damperleriyle korunmalıdır.	Açıklık koruması
9.12.8.2	Bir yangın alanındaki otomatik söndürme sisteminin devreye girmesiyle, ilgili yangın alanlarına hizmet veren otomatik yangın damperleri kapanmalıdır.	Kanal / damper kontrolü
9.12.8.3	Kablo, boru, kanal ve benzeri tesisat geçişlerinin çevresindeki açıklıkların, yangına dayanıklı yapının bütünlüğünü koruyacak onaylı malzemelerle kapatılmalıdır.	Tesisat geçişi koruması
9.12.8.4	Yeni asansör boşlukları, yük asansörleri, merdivenler ve diğer düşey açıklıkların yangın, duman ve ısının katlar arasında yayılmasını önleyecek biçimde yapılmalıdır.	Düşey yayılım
9.12.8.5	Yangına dayanıklı yapıdaki açık tutulması gereken yeni kapıların, onaylı bir sistem tarafından kontrol edilen kapı açık tutma düzenekleriyle donatılmalıdır.	Kapı sürekliliği
9.12.8.6	Kodun istediği yangın dayanımının, aksi ilgili bina kodunda belirtilmedikçe ASTM E119 veya UL 263'e göre test edilerek değerlendirilmelidir.	Dayanım doğrulaması
9.12.20 — Hazardous Areas (Tehlikeli Alanlar)		
9.12.20	Tehlikeli alanlar diğer alanlardan en az 1 saat yangın dayanımına sahip bir yangın ayırıcıyla ayrılmalıdır.	Tehlikeli alan ayrımı
9.12.23 — Location (Konum)		
9.12.23	Endüstriyel, depolama veya yüksek tehlikeli içerik bulunan bir yapı içinde ya da ona bitişik kültürel alanın; diğer kullanımdan ilgili bina koduna uygun yangına dayanıklı duvar/bölme ve döşeme veya döşeme-tavan sistemleriyle ayrılmalıdır.	Kullanım ayrımı
9.12.24 — Collection Storage Areas (Koleksiyon Depolama Alanları)		
9.12.24.1 — Construction (Yapım)		
9.12.24.1.1	Koleksiyon depolama alanları en az 1 saat yangın dayanımına sahip yangın bariyerleriyle çevrilmelidir.	Depo koruması
9.12.24.1.2	Yakma odaları, fırın ve kazan daireleri, boya atölyeleri ve önemli yangın tehlikesi bulunan alanlara bitişik koleksiyon depolarının bu alanlardan 2 saatlik yangın bariyeriyle ayrılmalıdır.	Tehlike ayrımı
9.12.24.4 — Compact Storage (Kompakt Depolama)		
9.12.24.4.1 — Fire Sprinkler or Alternative Suppression System (Yağmurlama veya Alternatif Söndürme Sistemi)		
9.12.24.4.1.4(A)	Otomatik yangın söndürme sistemi, kompakt depolama sistemi ve depolama kompartıman özellikleri, tesisin yangın emniyeti hedeflerine uygun olarak yangın hasarını sınırlayacak şekilde tasarlanmalıdır.	Depolama kompartımanı
9.12.24.7 — Wet Collections (Islak Koleksiyonlar)		
9.12.24.7.2.1	46,45 m² veya daha küçük ıslak koleksiyon depolama alanlarının en az 2 saat yangına dayanıklı yapımla çevrilmelidir.	Islak koleksiyon ayrımı
9.12.24.8 — Book Stacks (Kitap İstifleri)		
9.12.24.8.1	Çok katlı kitap istifi içeren bir yangın kompartımanındaki yangın yükünün, kompartıman içinde kalan tüm kat veya seviyelerin yakıt yükleri birlikte dikkate alınarak belirlenmelidir.	Kompartıman yangın yükü
9.12.24.8.4	Çok katlı kitap istiflerinin kat veya platformları arasındaki tüm düşey açıklıklarda duman bariyerleri kullanılmalıdır.	Düşey açıklık / duman bariyeri
9.12.26 — Hazardous Areas (Tehlikeli Alanlar)		
9.12.26.1	Tehlikeli alanların diğer alanlardan en az 1 saat yangına dayanıklı yapımla ayrılmasını ve otomatik yağmurlama veya alternatif söndürme sistemiyle korunmalıdır.	Tehlikeli alan ayrımı

Bölüm / madde	Madde içeriği	Kompartıman ilişkisi
CHAPTER 11 — FIRE PREVENTION (BÖLÜM 11 — YANGIN ÖNLEME)		
11.3 — Fire Spread Control (Yangın Yayılımının Kontrolü)		
11.3.1	Bina kullanılmadığında, izin verilen istisnalar dışında iç kapılar kapalı tutulmalıdır.	Kapıların yayılım kontrolü
11.3.2	İç kapıların havalandırma, tarihi dokuya gerekli hava hareketi veya kapıların tarihi dokunun parçası olması nedeniyle açık kalması durumunda, açık kapıların etkisinin profesyonel olarak analiz edilmeli ve belgelenmiş alternatif yangın yayılımı kontrol yöntemleri uygulanmalıdır.	Açık kapı / alternatif kontrol
11.9 — Penetrations (Tesisat geçişleri)		
11.9	Yangın bariyeri veya yangın duvarındaki tesisat geçişlerinin ilgili koda uygun biçimde kapatılmış olduğu düzenli olarak kontrol edilmelidir.	Tesisat geçişi sürekliliği
11.10 — Structural Fire Protection (Yapısal Yangın Koruması)		
11.10	Erişilebilir yapısal yangın koruma uygulamalarının yerinde ve iyi durumda olduğu düzenli olarak kontrol edilmelidir.	Yangından korumanın sürekliliği
CHAPTER 12 — INSPECTION, TESTING, AND MAINTENANCE OF PROTECTION SYSTEMS (BÖLÜM 12 — KORUMA SİSTEMLERİNİN DENETİMİ, TESTİ VE BAKIMI)		
12.9 — Fire Barriers (Yangın Bariyerleri)		
12.9	Yangın bariyerlerinin bütünlüğü ilgili bina koduna uygun olarak korunmalıdır.	Bariyer bütünlüğü / bakım

3.2 NFPA 914:2023 (Tarihi Yapıların Korunması Kodu)

NFPA 914, tarihsel ve mimari açıdan önemli olan binaların yangın emniyetinin sağlanması için minimum gereksinimleri belirler. Bu binalarda devam eden faaliyetleri, yenileme ve restorasyon çalışmalarını da kapsar; ancak kütüphaneler, müzeler ve ibadethanelerdeki koleksiyonlar bu kodun kapsamında değildir. Bu kodun hedefleri, can güvenliği ve tarihi korumadır [8].

NFPA 914'te yangın emniyeti kararları, tarihi binanın mevcut fiziksel özellikleri, kullanım biçimi, kullanıcı güvenliği, korunması gereken mimari değerler ve binaya özgü riskler dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Kod; yangının bina içindeki etkisinin sınırlandırılmasını, kullanıcıların emniyetli bir alana ulaşmasını ve yangın ile söndürme faaliyetlerinin tarihi doku üzerindeki etkilerinin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda yangına dayanımlı ayırımlar, açıklık koruyucuları, merdiven ve şaft gibi düşey açıklıkların çevresinin uygun şekilde kapatılması, gizli boşluklardaki yangın yayılımının kesilmesi ve tehlikeli alanların ayrılması, tarihi binanın kompartıman tasarımını etkileyen başlıca uygulamalar arasında yer alır. NFPA 914'de kompartıman tasarımını doğrudan etkileyen hükümler ise Tablo 3'de kodun bölüm ve alt bölüm başlıklarıyla gösterilmektedir [8].

Tablo 3. NFPA 914:2023'te yangın kompartımanı tasarımını etkileyen hükümler [8]

Bölüm / madde	Madde içeriği	Kompartıman ilişkisi
CHAPTER 8 — PRESCRIPTIVE-BASED APPROACH (BÖLÜM 8 — KURALCI YAKLAŞIM)		
8.2 — Compensatory Features (Telafi Edici Özellikler)		
8.2(4)	Bina alanlarını bölmek veya özel tehlikeleri yapının diğer bölümlerinden ayırmak amacıyla yangın ve dumanın yatay yayılımını sınırlayan yangına dayanıklı duvar ve kapılar telafi edici özellik olarak ele alınmalıdır.	Yatay ayırım
8.2(5)	Merdiven, havalandırma şaftı ve diğer düşey açıklıkların yangın ve dumanın düşey yayılımını sınırlayacak yangına dayanıklı yapımla çevrelenmelidir.	Düşey ayırım
8.2(6)	Duvar içleri, kiriş/mertek araları ve yatay-düşey yangın bariyerleri boyunca yangın durdurucu uygulamaları ele alır.	Gizli boşluk / firestop
8.2(7)	Yangına dayanımlı yapı elemanı ve sistemlerini telafi edici özellik olarak değerlendirilir.	Yangın dayanımı
CHAPTER 11 — FIRE PREVENTION (BÖLÜM 11 — YANGIN ÖNLEME)		
11.3 — Fire Spread Control (Yangın Yayılımının Kontrolü)		
11.3.1	Bina kullanılmadığında, 11.3.2'de izin verilen durumlar dışında iç kapıların kapalı tutulmalıdır.	Kapı kontrolü
11.3.2–11.3.2.2	İç kapıların belirli tarihi/koruma/havalandırma gerekçeleriyle açık kalması halinde risk analizi, belgeleme ve alternatif yangın yayılım kontrol yöntemlerine başvurulmalıdır.	Risk temelli açıklık
11.4 — Housekeeping (Düzen ve Temizlik)		
11.4.8 — Combustible Packing Materials (Yanıcı Ambalaj Malzemeleri)		
11.4.8.2	Yanıcı ambalaj malzemeleri uygun metal kaplarda korunamıyorsa özel paketleme/ sandıklama alanının 1 saat yangın bariyeriyle çevrelenmesini veya yağmurlama sistemi ile korunmalıdır.	Özel alan ayrımı
11.4.9 — Trash and Trash Containers (Atık ve Atık Konteynerleri)		

Bölüm / madde	Madde içeriği	Kompartıman ilişkisi
11.4.9.3	Bina içindeki büyük atık konteynerlerinin yangına dayanıklı ve/veya yağmurlama sistemli ayrılmış alanlarda tutulmalıdır.	Atık alanı ayrımı
11.7 — Electrical Systems (Elektrik Sistemleri)		
11.7.4	Kablolama söküldüğünde yangına dayanımlı yapı elemanlarında oluşan tesisat geçişleri ilgili bina koduna uygun biçimde korunmalıdır.	Tesisat geçişi koruması
CHAPTER 13 — ADDITIONS, ALTERATIONS, AND REHABILITATION (BÖLÜM 13 — EKLER, DEĞİŞİKLİKLER VE REHABİLİTASYON)		
13.2 — Construction Oversight (Yapım Gözetimi)		
13.2.3.2(2)	Yapım gözetimi kapsamında çalışma/yapım alanı mevcut binadan izole edilmelidir.	Geçici ayırım
CHAPTER 14 — FIRE PRECAUTIONS DURING CONSTRUCTION, REPAIR, AND ALTERATIONS (BÖLÜM 14 — YAPIM, ONARIM VE DEĞİŞİKLİKLER SIRASINDA YANGIN ÖNLEMLERİ)		
14.3 — Construction Processes and Hazards (Yapım Süreçleri ve Tehlikeleri)		
14.3.5.2	Yangın duvarları, yangın bariyerleri, yangın kapıları ve diğer ayırıcı sistemlerin bütünlüğü veya işlevi yapım/onarımlar sırasında korunmalıdır.	Ayırım bütünlüğü
CHAPTER 15 — INSPECTION, TESTING, AND MAINTENANCE (BÖLÜM 15 — DENETİM, TEST VE BAKIM)		
15.9 — Fire Walls and Fire Barrier Walls (Yangın Duvarları ve Yangın Bariyer Duvarları)		
15.9	Yangın duvarları ve yangın bariyer duvarlarının bütünlüğü ile bu duvarlardaki açıklık koruyucuları kullanım süresince korunmalı ve bakımı sürdürülmelidir.	Bakım sürekliliği

3.3. NFPA 909 ve NFPA 914 Kapsamında Yangın Kompartımanı Tasarım Yaklaşımını Belirleyen İlkeler

NFPA 909 ve NFPA 914 hükümleri, yangın kompartımanı uygulamasının yalnızca fiziksel bileşenlerini değil, uygulamanın hangi yöntemle seçileceğini ve yeterliliğinin nasıl gösterileceğini de düzenlemektedir. Bu çalışmada söz konusu hükümler, kompartıman tasarımı açısından iki temel tasarım ekseninde ele alınmıştır: kuralcı yaklaşım ve performansa dayalı yaklaşım [7,8]. Bu sınıflama, kodlardaki bütün uygunluk seçeneklerini yeniden adlandırmaktan ziyade, kompartıman kararının oluşturulma ve doğrulanma biçimini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır.

Kuralcı yaklaşımda temel esas, kodda tanımlanan gerekliliklere doğrudan uygunluktur. NFPA 909'da 1.6.2 ve 9.12; NFPA 914'te ise 7.5.2 ve Bölüm 8 bu yaklaşımın temel çerçevesini oluşturmaktadır. Bununla birlikte kuralcı yöntem yalnızca hükümleri aynen uygulamaktan ibaret değildir. NFPA 909 Madde 9.12.2–9.12.6 ve NFPA 914 Madde 8.1.1.2–8.2; alternatif, eşdeğerlik, gereklilik değişikliği ve telafi edici özelliklerin kuralcı yaklaşım içinde kullanılmasına olanak tanımaktadır [7,8]. Bu nedenle eşdeğerlik ve telafi edici özellikler bağımsız bir üçüncü tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilmemelidir. Eşdeğerlikte, kuralcı hükmün öngördüğü koruma düzeyinin farklı bir yaklaşım, sistem veya yöntemle sağlandığının belgelenmesi; telafi edici özelliklerde ise bu çözümün pasif, aktif veya yönetimsel önlemlerle desteklenmesi söz konusudur. Bu mekanizmaların kullanılması tek başına çözümü performansa dayalı tasarım haline getirmemektedir [7,8]. Performansa dayalı yaklaşımda ise çözüm, önceden tanımlı tek bir fiziksel düzenin uygulanmasıyla değil koruma hedefleri ve amaçlarının belirlenmesi, performans kriterlerinin tanımlanması, tasarım yangını senaryolarının oluşturulması, seçilen çözümün analiz ve değerlendirme yoluyla sınanması ve sonuçların doğrulanıp belgelenmesi yoluyla geliştirilir. NFPA 909'da 1.6.3 ve 9.13; NFPA 914'te 7.5.3 ve Bölüm 9 bu süreci düzenlemektedir (Tablo 4) [7,8].

Tablo 4. NFPA 909 ve NFPA 914'te kuralcı ve performansa dayalı yaklaşımların kod içindeki yeri [7,8]

Yaklaşım	NFPA 909:2025	NFPA 914:2023
Kuralcı	1.6.2 ve 9.12. Kuralcı yol içinde 9.12.2–9.12.6 kapsamında alternatif, eşdeğerlik, gereklilik değişikliği ve telafi edici özellikler kullanılabilir.	7.5.2 ve Bölüm 8. Kuralcı yol içinde 8.1.1.2–8.2 kapsamında alternatif, eşdeğerlik, değişiklik ve telafi edici özellikler kullanılabilir.
Performansa dayalı	1.6.3 ve 9.13. Hedefler, performans kriterleri, tasarım koşulları, tasarım yangını senaryoları, değerlendirme ve belgeleme üzerinden uygunluk gösterilir.	7.5.3 ve Bölüm 9. Performans kriterleri, tasarım özellikleri ve varsayımlar, tasarım yangını senaryoları, değerlendirme ve belgeleme üzerinden uygunluk gösterilir.

NFPA 914 açısından ayrıca bir ayrım yapılmalıdır. Madde 7.4.2, düzeltme planı seçenekleri arasında kuralcı uygunluk, risk indeksleme uygunluğu, performansa dayalı uygunluk veya bunların birleşimini açıkça sıralamaktadır; 7.3.4.2 ise yetkili merci tarafından onaylanan yangın risk indeksleme yöntemiyle kabul edilebilir bulunan tarihi yapıların uygulanabilir yangın emniyeti kodlarına uygun kabul edilebilmesine olanak

tanımaktadır [8]. Bu nedenle risk indeksleme NFPA 914 içinde gerçek bir uygunluk seçeneğidir. Bununla birlikte bu çalışmada, yangın kompartımanı tasarımının iki temel tasarım eksenini karşılaştırmak amacıyla risk indeksleme ayrı bir üçüncü kompartıman tasarım yaklaşımı olarak aşağıdaki şemaya eklenmemiştir (Şekil 1).



Şekil 1. NFPA 909 ve NFPA 914'te kuralcı ve performansa dayalı yaklaşımın temel bileşenleri [7,8].

Performansa dayalı yaklaşımın kompartıman tasarımı açısından somut karşılığı, özellikle kompartıman sınırının açıklıklar, gizli boşluklar ve koruma sistemlerindeki olası yetersizlikler altında sınandığı tasarım yangını senaryolarında görülmektedir. Her iki kodda da kompartıman bütünlüğünü doğrudan sorgulayan benzer senaryolar bulunmaktadır (Tablo 5) [7,8].

Tablo 5. NFPA 909 ve NFPA 914'te kompartıman açısından öne çıkan performans tasarım yangını senaryoları [7,8].

Senaryo konusu	NFPA 909:2025	NFPA 914:2023	Kompartıman açısından önemi
İç kapıların açık olduğu hızlı gelişen yangın	9.13.16.3	9.5.3.3	Kapıların açık durumda yatay yayılımı ve kaçış koşullarını nasıl etkilediğini sınar.
Boş bir hacimden yoğun/önemli hacme yayılım	9.13.16.4	9.5.3.4	Kompartımanlar arası yayılımın kullanıcılar ve kültürel açıdan önemli hacimler üzerindeki etkisini değerlendirir.
Gizli duvar veya tavan boşluğunda başlayan yangın	9.13.16.5	9.5.3.5	Gizli boşluk sürekliliğini ve görünmeyen yayılım yollarını sınar.
Pasif veya aktif koruma sistemlerinden birinin devre dışı kalması	9.13.16.9	9.5.3.9	Kompartıman çözümünün tek bir koruma bileşeninin güvenilirliğine bağımlılığını sorgular.

Bu çerçevede kompartımanlara ayırma, kendi başına kuralcı veya performansa dayalı bir çözüm değildir. Aynı duvar, kapı, şaft koruması veya tesisat geçişi koruması; kuralcı bir hükme doğrudan uygunluk amacıyla seçilebileceği gibi, performansa dayalı bir çözümün parçası olarak da kullanılabilir. Yaklaşımın niteliğini belirleyen esas unsur, kompartıman kararının hangi girdilerle geliştirildiği ve yeterliliğinin hangi kanıtla gösterildiğidir.

4. BYKHY KAPSAMINDA TARİHİ BİNALARDA YANGIN KOMPARTIMANI TASARIM İLKELERİ

BYKHY'de tarihi yapılar On Birinci Kısım kapsamında düzenlenmekle birlikte Madde 167/C(1), aksi belirtilmedikçe tarihi yapıların yangından korunmasında mevcut binalara ilişkin Onuncu Kısım hükümlerinin uygulanmasını öngörmektedir. Bu nedenle tarihi yapılardaki kompartıman tasarımı, Onuncu Kısımdaki mevcut bina hükümleri ile On Birinci Kısımdaki koruma ilkeleri, özel kabuller ve tarihi binaya özgü düzenlemelerin birlikte değerlendirilmesine dayanır [9,10].

Yönetmelikte yangına dayanımlı ayırımlar, kaçış merdivenleri ve kapıları, düşey boşluklar, teknik hacimler ve belirli tehlikeli alanlar için doğrudan hükümler bulunmaktadır. Tarihi yapılara özgü en açık kompartıman

hükmü, ayrı yangın kompartımanı oluşturulmadan kolay alevlenici, parlayıcı ve patlayıcı madde bulundurulmasını yasaklayan Madde 167/C(10)'dur [9,10].

Tablo 6. BYKHY'de tarihi binalardaki yangın kompartımanı sistemini doğrudan etkileyen başlıca hükümler [9,10].

Kısım / madde	Madde içeriği	Kompartıman ilişkisi
Onuncu Kısım — Mevcut Binalar		
Madde 146(b)	Belirli kaçış düzenlerinde oda duvarları ve kapılar için en az 60 dakika yangına dayanım; kapıda duman sızdırmazlık koşulu getirir.	Oda/kaçış ayırımı
Madde 153(2)	Dış kaçış merdivenine 1,8 m'den yakın açıklıkların 60 dakika dayanıklı yapılmasını veya merdivenin 60 dakikalık korumayla çevrelenmesini ister.	Açıklık/merdiven
Madde 155(2)	Kaçış merdiveninin mutfak, banyo veya servis merdiveniyle aynı ışıklık/baca boşluğunu paylaşmamasını ister.	Düşey yayılım
Madde 157(1)	Kaçış merdiveni kapılarında bina yüksekliğine bağlı 60 veya 90 dakika dayanım ve duman sızdırmazlık koşulu getirir.	Kapı koruması
Madde 160(2)	Asansör makine dairesinin yangına en az 60 dakika dayanıklı ve yanıcı olmayan malzemeden yapılması şartı getirir.	Teknik hacim ayrımı
On Birinci Kısım — Tarihi Yapılar		
167/C(4)	Bir kattan fazla topluma açık tarihi yapılarda ahşap ana taşıyıcıların restorasyonda en az 90 dakika yangına dayanacak biçimde korunmasını ister.	Taşıyıcı koruması
167/C(10)	Tarihi yapılarda ayrı yangın kompartımanı oluşturulmadan kolay alevlenici, parlayıcı ve patlayıcı madde bulundurulmasına izin vermez.	Doğrudan kompartıman

BYKHY ayrıca tarihi binanın fiziksel ve görsel özelliklerine zarar vermeme, belirli koşullarda kaçış düzenlerinin kabulü ve önceden tanımlanmış koşullu alternatifler gibi tasarım yaklaşımını etkileyen hükümler içerir. Bu hükümler tarihi binaya uyarlama olanağı sağlamakla birlikte, hedef-senaryo-kabul kriteri-analiz-doğrulama adımlarından oluşan ayrı bir performansa dayalı uygunluk yöntemi tanımlamaz [9,10].

5. NFPA İLE BYKHY KAPSAMINDA TARİHİ BİNALARDA KOMPARTIMAN TASARIM İLKELERİNİN PERFORMANSA DAYALI YAKLAŞIMLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

NFPA 909, NFPA 914 ve BYKHY hükümleri, tarihi binalarda yangın kompartımanlarının performansa dayalı yaklaşımı açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın odağı, kompartıman hükmünün varlığından çok çözümün hangi girdilerle oluşturulduğu, kuralcı çözümden farklılaşmanın nasıl gerekçelendirildiği ve yeterliliğin hangi yöntemle doğrulandığıdır.

NFPA kodlarında kuralcı yaklaşım korunmakla birlikte performansa dayalı yaklaşım ayrı ve yapılandırılmış bir seçenek olarak tanımlanmaktadır. Hedefler, performans kriterleri, yangın senaryoları, analiz ve belgeleme bu yolun temel bileşenlerini oluşturur. Kuralcı yol içerisinde ise alternatif, eşdeğerlik, gereklilik değişikliği ve telafi edici özellikler kontrollü esneklik sağlamaktadır. BYKHY'de tarihi binalara ilişkin özel kabuller ve koruma duyarlı hükümler bulunmakla birlikte, tarihi bina kompartıman tasarımı için benzer biçimde tanımlanmış ayrı bir performansa dayalı uygunluk yolu bulunmamaktadır [7–10].

Tablo 8. NFPA kodları ile BYKHY'nin tarihi bina yangın kompartımanı tasarımında performansa dayalı yaklaşım açısından karşılaştırılması.

Değerlendirme ölçütü	NFPA 909 ve NFPA 914 kapsamında	BYKHY kapsamında	Performansa dayalı yaklaşım açısından değerlendirme
Kompartıman tasarımının kapsamı	Ayırımlar, açıklıklar, düşey boşluklar, tesisat geçişleri, özel alanlar ve birleşim yeri sürekliliği birlikte ele alınır.	Mevcut bina hükümleri ile tarihi binalara özgü özel hükümler ve kabuller birlikte uygulanır.	NFPA kodlarında kompartıman kararları daha geniş bir tasarım ve değerlendirme süreci içinde ele alınır.
Tasarım girdileri ve risk	Kültürel değer, mevcut yapı koşulları, tehditler, kayıp/risk toleransı ve yangın yayılım yolları değerlendirmeye dahil edilir.	Binanın fiziksel ve görsel özelliklerinin korunması ve ilgili kurum görüşleri esas alınır.	NFPA'da yapıya özgü veriler ve risk doğrudan tasarım girdisidir; BYKHY'de bu verileri performans hedeflerine dönüştüren ayrı bir yöntem tanımlanmaz.

Değerlendirme ölçütü	NFPA 909 ve NFPA 914 kapsamında	BYKHY kapsamında	Performansa dayalı yaklaşım açısından değerlendirme
Kuralcı çözümden farklılaşma	Alternatif, eşdeğerlik, gereklilik değişikliği ve telafi edici özellikler için tanımlı mekanizmalar bulunur.	Belirli koşullara bağlı istisna ve tarihi binaya özgü kabuller bulunmaktadır.	NFPA proje özelindeki alternatif çözümün gerekçelendirilmesine olanak verirken, BYKHY'de esneklik ağırlıklı olarak önceden tanımlanmış hükümlere bağlıdır.
Performansa dayalı tasarım ve doğrulama	Performansa dayalı uygunluk ayrı bir seçenek olarak tanımlanır; hedef, kriter, tasarım yangını senaryosu, analiz ve belgeleme süreci kullanılır.	Tarihi bina için bu aşamaları birlikte tanımlayan ayrı bir performansa dayalı uygunluk yöntemi bulunmamaktadır.	Temel yöntemsel fark, NFPA'da yapıya özgü çözümün performansının tanımlı kriter ve senaryolarla kanıtlanabilmesidir.
Süreklilik ve değişiklikler	Tasarım özelliklerinin, varsayımların ve ayırıcı sistemlerin değişiklik, denetim ve bakım süreçlerinde korunmasına ilişkin hükümler bulunur.	Kullanım ve bakıma ilişkin hükümler bulunmakla birlikte tarihi binaya özgü performans tasarım varsayımlarını izleyen ayrı bir süreç tanımlanmaz.	NFPA'da performans çözümünün sonraki değişikliklerde geçerliliğinin korunması tasarım süreciyle ilişkilendirilir.

Tablo 8'de görüldüğü üzere NFPA 909 ve NFPA 914'te yangın kompartımanı tasarımı, kuralcı hükümlerle birlikte yapıya özgü değerlendirme, alternatif ve eşdeğer çözümler ile performansa dayalı uygunluk yöntemleri kapsamında ele alınmaktadır. Performansa dayalı seçenekte hedeflerin ve kriterlerin belirlenmesi, tasarım yangını senaryolarının oluşturulması, çözümün analiz edilmesi ve sonuçların belgelenerek doğrulanması tanımlı bir tasarım sürecidir [7,8]. BYKHY'de ise tarihi yapıların yangın emniyeti, mevcut binalara ilişkin hükümler ile tarihi yapılara özgü koruma ilkeleri ve özel kabullerin birlikte uygulanmasına dayanmakta; tarihi bina kompartıman çözümünün hedef-kriter-senaryo-analiz-doğrulama süreciyle geliştirilmesine yönelik ayrı bir performansa dayalı uygunluk yöntemi tanımlanmamaktadır [9,10].

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tarihi binalarda yangın kompartımanı tasarımı, NFPA 909, NFPA 914 ve BYKHY hükümleri üzerinden değerlendirilmiştir. NFPA kodlarında kompartıman tasarımı; mevcut bina koşulları, kültürel değerler ve risklerin değerlendirilmesiyle birlikte ele alınmakta, kuralcı hükümlerin yanı sıra alternatif ve eşdeğer çözümler ile performansa dayalı uygunluk yolu tanımlanmaktadır. Performansa dayalı seçenekte hedefler, performans kriterleri, tasarım yangını senaryoları, analiz ve belgeleme süreci kullanılmaktadır [7,8].

BYKHY'de ise tarihi binaların yangın emniyeti, mevcut bina hükümleri ile tarihi binalara özgü koruma ilkeleri ve özel kabullerin birlikte uygulanmasına dayanmaktadır. Bununla birlikte, tarihi bina kompartıman çözümünün yapıya özgü hedefler, kriterler, yangın senaryoları ve analiz yoluyla geliştirilip doğrulanmasına yönelik ayrı bir performansa dayalı uygunluk yöntemi tanımlanmamaktadır [9,10].

Bu nedenle temel farklılık, teknik kompartıman elemanlarından çok, alternatif çözümün nasıl geliştirildiği ve yeterliliğinin nasıl doğrulandığıdır. BYKHY'de tarihi binalara yönelik düzenlemelerin performans hedefleri, tasarım yangını senaryoları ve doğrulama esaslarıyla geliştirilmesinin, kompartıman tasarımında performansa dayalı çözümlerin daha sistematik ele alınmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir [7–10].

3. KAYNAKLAR

[1] TORERO, J. L., Fire Safety of Historical Buildings: Principles and Methodological Approach, International Journal of Architectural Heritage, Cilt 13, Sayı 7, s. 926-940, 2019.

[2] GARCIA-CASTILLO, E., PAYA-ZAFORTEZA, I., HOSPITALER, A., Fire in heritage and historic buildings, a major challenge for the 21st century, Developments in the Built Environment, Cilt 13, Makale No. 100102, 2023.

[3] KINCAID, S., The Upgrading of Fire Safety in Historic Buildings, The Historic Environment: Policy & Practice, Cilt 9, Sayı 1, s. 3-20, 2018.

[4] BİREKUL, E., "Tarihi Binalarda Yangın Kompartımanlarıyla İlgili Düzenlemelerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023.

[5] SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, "SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection", 2. Baskı, SFPE, 2007.

[6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, "ISO 23932-1:2018 Fire Safety Engineering—General Principles—Part 1: General", ISO, 2018.

[7] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, "NFPA 909: Code for the Protection of Cultural Resource Properties—Museums, Libraries, and Places of Worship", NFPA, 2025.

[8] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, "NFPA 914: Code for the Protection of Historic Structures", NFPA, 2023.

[9] BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK, Resmî Gazete, 19 Aralık 2007, Sayı 26735; 1 Temmuz 2025 tarihli ve 32943 sayılı değişiklik dahil.

[10] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu", Aralık 2024.

4. KISA ÖZGEÇMİŞ

Nuri SERTESER

İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü öğretim üyesidir. Yapı Fiziği Derneği'nin başkanlığını yürütmektedir. Fiziksel Çevre Kontrolü çalışma alanı, yapı teknolojisi ve yangın emniyeti ile ilgili hem İTÜ hem de diğer üniversitelerde lisans ve yüksek lisans düzeyinde dersler vermektedir. Uzmanlık alanı olan "Binalarda Yangın Emniyeti" ile ilgili University of Maryland Fire Protection Engineering Bölümü'nde doktora sonrası akademik araştırmalarda bulunmuştur. Ayrıca yangın emniyeti ile ilgili TÜYAK ve İMSAD bünyesindeki komisyonlarda ve İTÜ Afet Yönetim Araştırma ve Uygulama Merkezi Yönetim Kurulu'nda yer almaktadır.

Esma BİREKUL

Mimar, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı mezunudur. Yüksek lisans tezini Doç. Dr. Nuri Serteser danışmanlığında tarihi binalarda yangın kompartımanlarına ilişkin düzenlemeler üzerine tamamlamıştır. Çalışmalarını tarihi binalarda yangın emniyeti, pasif yangın önlemleri ve NFPA standartları üzerine sürdürmekte; Certified Fire Protection Specialist (CFPS) sertifikasyon sınavına hazırlanmaktadır.

BİR ÜNİVERSİTE BİNASININ YANGIN ÖNLEMLERİ AÇISINDAN MEVZUAT KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Atakan KİREMİTÇİ

ÖZET

Afetlerden korunmak afet yönetiminin ilk ve en önemli basamağıdır. Binaların yapısal özelliklerini afetlere dayanıklı yapmak, afet ile mücadelede ana gaye olmalıdır. Özellikle her türlü sosyal, kültürel, ekonomik gruptan bireylerin bulunduğu okul, hastane gibi binaların afetlere daha dirençli olmaları ve afet sonrasında da işlevsel kalmaları gerekmektedir.

Yangın, oluşmaması için önlem alınması gereken, oluşması durumunda ise hızlı bir şekilde müdahale edilmesi ve olumsuz etkilerinden insanların korunması gereken bir afet tipidir. Bir binada alınacak yangın önlemleri, ülkemizde Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (B.Y.K.H.Y.) ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada, B.Y.K.H.Y.'e göre mevcut bina olarak değerlendirilen örnek binanın yangın önlemlerine dair analizi; hem binanın mimarı projesi değerlendirilerek, hem de binada yapılan gözlemler ile tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucu tespit edilen eksiklerin nasıl giderilebileceği B.Y.K.H.Y.'in maddelerine göre tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Yangın önlemleri, mevcut bina, okul binası

FIRE PRECAUTIONS IN EXISTING BUILDINGS EVALUATION WITH THE EXAMPLE OF UNIVERSITY BUILDING

ABSTRACT

Protect against the effects of disasters is the first and most important step in disaster management. In particulary, where people live from all kinds of social, cultural and economic groups, buildings such as schools and hospitals, need to be more resistant to disasters and remain functional after the disaster.

Fire is a type of disaster that requires taking precautions to prevent it from occurring, and if it does occur, must be intervened quickly and people must be protected from its negative effects. Fire safety measures to be taken in a building are determined in our country by the Turkish Regulation on Fire Protection of Buildings (R.F.P.B.T.)

In this study, Analysis of the fire precautions of the sample building, which is considered as an existing building according to R.F.P.B.T.; It was determined both by evaluating the architectural project of the building and by observations made in the building. At the end of study, It was discussed according to articles of R.F.P.B.T. that how the deficiencies identified as a result of the study can be eliminated.

Key words: Fire precautions, existing building, school building

1. GİRİŞ

Ateşin kontrol edilmesi ile atalarımız, aynı ortamı paylaştıkları diğer canlılar karşısında büyük bir avantaja sahip olmuştur. Kaplan ve Yurdagül (2018)[1] tarafından bildirildiğine göre zamanla ateş, hem sosyal ve kültürel birleştirici bir unsur olarak, hem de hayat koşullarını birçok açıdan (hızlı yemek yiyebilme, vahşi yaşamdan korunma, ısınma) kolaylaştırması sebebiyle insan yaşamının ayrılmaz bir parçası olmuştur.

Ateş, gelişen teknolojinin de etkisiyle insan yaşam alanlarının birçoğunda (konutlar, işyeri ve sosyal binalar, sanayi, kamu binaları vb.) kullanılmaya başlanmıştır. Ancak zamanla anlaşılmıştır ki çok sayıda avantajının yanında, kontrol edilememesi halinde insan hayatını tehlikeye sokan yangın gibi bir dezavantajı da bulunmaktadır. Edinilen birçok acı tecrübenin sonucunda, ateşin kontrolsüz hali olan yangından dolayı oluşabilecek hasar ve kayıpları engellemek için, yangının oluşmasını engelleyecek, oluşması durumunda erken tespit edilmesi ve kısa bir sürede müdahale edilmesini sağlayacak, aynı zamanda zararlı etkilerine maruz kalmadan insanların tahliye edilmesini sağlayacak yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin herkes tarafından uygulanması, böylece yangın önlemlerinin toplumun her kesimine fayda sağlaması için kamu kurumları, çeşitli STK ve/veya ajanslar tarafından bu yöntemler kanun, yönetmelik, standart ve/veya rehber olarak düzenlenmiş, böylece herkesin uyması gereken yasalar haline gelmiştir.

Bu kapsamda ülkemizde tüm bina ve tesisler Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (B.Y.K.H.Y. olarak anılacaktır) hükümlerine göre tasarlanmış ve inşa edilmiş olmak zorundadır. (B.Y.K.H.Y., 2007)[2]

Ancak her ne kadar bir yapının inşasında B.Y.K.H.Y. hükümlerine riayet edilmiş olsa da zaman geçtikçe sistemler ve/veya yapı malzemeleri eşyanın doğası gereği ve kullanılıyor olmaları sebebiyle özelliklerini kaybedebilmekte, görevlerini kısmen veya tamamen yerine getiremez hale gelmektedir.

İşte tam da bu nedenle, entegre sistemler ve çeşitli yapı malzemelerinin birleşiminden oluşan yangın önlemlerinin periyodik olarak denetimleri yapılmalıdır.

Sunum için örnek bir bina seçilerek yangın önlemlerine dair değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bu değerlendirmeler, gözleme dayalı nitel analiz teknikleri ile yapılmış, elde edilen sonuçlar bulgular kısmında açıklanmıştır. Değerlendirme sonucunda yapılan tespitlere göre yangın önlemlerini yönetmeliğe uygun hale getirmek için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Özellikle yangın önlemleri denetim faaliyetinin periyodik olarak yapılması için 2026 senesinde kural koyucular tarafından büyük adımlar atılmış, ilgili kanunlarda değişiklikler yapılarak ve buna bağlı yeni yönetmelikler çıkartılarak litaratüre Yangın Uzmanı ismiyle yeni bir teknik sınıf eklenmiştir. Bu noktada denetimler İtfaiye Daire Başkanlıkları ve Müdürlüklerin ilgili ekiplerinin yanı sıra Yangın Uzmanlarınca da yapılabilecektir. Sahada karşılaşılacak yapı stoğu düşünüldüğünde, denetimcilerin B.Y.K.H.Y.'in "mevcut binalar " tanımına göre değerlendirilmesi gereken binalar ile karşılaşması kaçınılmazdır. Bu bakış açısı ile değerlendirildiğinde, çalışmanın birçok noktada açıklayıcı ve yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2. B.Y.K.H.Y. GÖRE YANGIN ÖNLEMLERİNİN BELİRLENMESİ

B.Y.K.H.Y. göre bir binada olması gereken yangın önlemlerinin ne olduğunun tespit edilebilmesi için öncelikle bina ile ilgili bazı bilgilere ihtiyaç vardır.

Bu bilgiler;

- Binanın inşaat (yapı) ruhsatı tarihi,
- Binada yürütülen faaliyet türü ve tehlike sınıfı
- Bina yüksekliği (binanın kot aldığı noktadan saçak seviyesine kadar veya imar planında olan yükseklik),(B.Y.K.H.Y., 2007)[1]
- Yapı yüksekliği (bodrum katlar, asma katlar ve çatı arası piyesler dahil olmak üzere, yapının inşa edilen bütün katlarının toplam yüksekliği),(B.Y.K.H.Y., 2007)[1]
- Kat alanı,
- Toplam inşaat alanı,
- Kullanıcı yükü,

olarak sıralanmaktadır.

Bu bilgiler doğrudan B.Y.K.H.Y.'de sıralanmasa bile, yönetmelik incelendiğinde temel olarak bu bilgilere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

2.1. Örnek Binanın Tanımı

Örnek bina, 10.263 m^2 büyüklüğündeki bir parsel içerisinde, birbirine geçişi olmayan toplam 5 bloktan (B blok) biridir (Görsel 1.1). Zemin üzeri 7 kat ve bodrum kattan oluşan bir bina olup (Görsel 1.2) derslik, ofis ve yardımcı sistem odaları (su deposu ve pompa odası, yemekhane, mescit) olarak kullanıldığı görülmüştür. Bina yüksekliği 25.23 mt, yapı yüksekliği 27,17 mt'dir. Kat alanları Tablo 1.1' de gösterilmiş olup toplam inşaat alanı (kapalı alan) 7900 m^2' dir. Binanın 3 adet korunumsuz, betonarme yapıda dahili ve 1 adet korunumsuz betonarme yapıda dış merdiveni vardır. Dahili merdivenlerden biri dengelenmiş diğer merdivenler düz sahanlıklı merdivendir.

Tablo 1.1 Bina Özellikleri

Yapı Kullanım İzni Tarihi	26.03.1992
Faaliyet Türü	Eğitim (Üniversite) Binası
Bina Yüksekliği	25,23 metre
Yapı Yüksekliği	27,17 metre
Kat Alanı	Zemin, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7: 875 m^2 Bodrum Kat : 900 m^2
Toplam İnşaat Alanı	7.900 m^2



Görsel 1.1 Binanın parseldeki yerleşimi ve taban alanı (https://parselsorgu.tkgm.gov.tr, 2023)



Görsel 1.2 Binanın bulunduğu toplam parsel alanı ve genel tanımı (https://parselsorgu.tkgm.gov.tr, 2023)

2.2. Binada Bulunması Gereken Yangın Önlemleri

Öncelikle binanın bahsedilen özelliklerine göre binada bulunması gereken yangın önlemlerini sıralayalım.

2.2.1 Kaçış yolu sayısı ve genişliğinin hesaplanması ve kaçış mesafeleri

Bina yapım yılı 26.03.1992 ve faaliyet nevi "Okul" binası olup yapım yılı itibari ile B.Y.K.H.Y.' in 138. maddesi gereği "Mevcut Bina" olarak değerlendirilmektedir. Tehlike sınıfı B.Y.K.H.Y. Ek-1/B' ye (Tablo 2.1) göre Orta Tehlike-1 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.1 Orta tehlike sayılan kullanım alanları (B.Y.K.H.Y. Ek Tablo 1/B)

KULLANIM TÜRÜ	Orta Tehlike -1	Orta Tehlike -2	Orta Tehlike -3	Orta Tehlike -4
Çeşitli	Hastaneler, oteller, lokantalar, kütüphaneler (kitap depoları hariç), **okullar,** bürolar	Fizik laboratuvarları, çamaşırhaneler, otoparklar, müzeler	Radyo ve televizyon Yayınevleri, tren istasyonları, tesisat odaları	Sinemalar, tiyatrolar, konser salonları, tütün fabrikaları

Kaçış yollarının tasarımı kat bazında yapılacağı için en yoğun kullanıcı yükünün olduğu katın hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Tablo 2.2' deki değerler kullanılarak bulunan kişi sayıları, Ek-1 Tablo 2.3' de gösterilmiştir. Hesap yapılırken, aynı katta olduğu halde aynı anda kullanılmayan bölümler (tuvalet, koridor vb.), katın kullanıcı yükü hesabında dikkate alınmamıştır. (B.Y.K.H.Y. Madde 31/6).

Tablo 2.2 Kullanıcı yükü katsayısı tablosu (B.Y.K.H.Y., Ek Tablo 5/A)

	Kullanım Alanı		m^2/kişi
1	Konferans salonu, çok amaçlı salonlar (balo vs), **lokanta, kantin**, bekleme salonları, konser salonları, sinema ve tiyatro salonları, topluma açık stüdyo, düğün salonu vb.		1.5
2	Dans salonları, bar, gece kulüpleri ve benzeri yerler	Oturulan kısımları için	1.0
		Ayakta durulan kısımları için	0.5
3	Sergi alanları, stüdyolar (film, radyo, televizyon, kayıt)		1.5
4	Terminallerin yolcu geliş gidiş bekleme salonları		3
5	**Derslikler, bilgisayar odaları**, seminer salonları		1.5
6	Resepsiyon alanları, bekleme alanları, atrium zemini		3
7	Çok amaçlı spor tesisleri		3
8	Süpermarketler, mağazalar, dükkânlar		5
9	Sanat galerileri, müzeler, **atölyeler**		5
10	Fitnes merkezleri, aerobik salonları, okuma salonları		5
11	**Ofisler,** dernek merkezleri, halk kütüphaneleri		10
12	Öğrenci yatak odaları		10
13	Paketleme yerleri, fabrika üretim alanları		10
14	Hastane yatak odaları, hemşire odaları		20
15	**Mutfaklar**, çamaşırhaneler		10
16	Otel yatak odaları		20
17	Hastane laboratuvarları, eczaneler		20
18	Muayenehane, **öğrenci laboratuvarları**		5
19	**Depolar**, ambarlar, **makina daireleri**		30
20	Otoparklar		30
Kullanıcı yükü; gerekli kaçış ve panik hesaplarında kullanılmak üzere 1, 2, 3 ve 4. satırlarda yer alan kullanım alanlarında net alana, diğer satırlarda yer alan kullanım alanları için brüt alana göre hesaplanır. Kişi sayısı belirli olan mahallerde, yukarıdaki değerlere göre hesaplanan değerden az olmamak üzere, belirtilen kişi sayısı esas alınır.			

Kullanıcı yükü;

Formül 1.1 Kullanıcı Yükü Hesabı, (B.Y.K.H.Y., 2007)

$$\frac{\text{Döşeme Alanı}(m^2)}{\text{Kullanıcı Yükü Katsayısı}} = \text{Kullanıcı Yükü}$$

formülü ile hesaplanır.

Hem her bağımsız bölüm için hem de her kat için kullanıcı yükü hesabı sonuçları Ek-1 Tablo 2.3' de verilmiştir. B.Y.K.H.Y. madde 150/1a'ya göre herhangi bir katta veya katın bir bölümünde, hesap edilen değer, faaliyet konusu yüksek tehlikeli olan yerlerde 25 kişiyi ve diğer yerlerde 60 kişiyi aşıyorsa en az 2 çıkış, 600 kişiyi aşıyorsa en az 3 çıkış, 1000 kişiyi aşıyorsa en az 4 çıkış tasarlanması gerekmektedir. Binada yüksek tehlike sınıfına giren bir alan ya da faaliyet bulunmamaktadır.

Hesaba göre en yoğun kullanıcının bulunduğu kat, 5. kattır. Kullanıcı sayısına göre kaçış yolu genişliği hesap edilmelidir. B.Y.K.H.Y. madde 148/1-a' ye göre kaçış yolu genişliği hesabı için;

Formül 1.2 Kaçış Yolu Genişliği, (B.Y.K.H.Y., 2007)

Kullanıcı Yükü x 0,4 = Kat/Bağımsız Bölüm Toplam Kaçış Yolu Genişliği (cm)

formülü kullanılmaktadır. Sonuç cm cinsinden, hesaplanan bağımsız bölümdeki veya kattaki toplam kaçış yolu genişliğini ifade eder. Ancak örnek bina için, hesaplanan değer ne olursa olsun, düz kollu merdivenlerde genişlik 70 cm' den daha az olamaz (B.Y.K.H.Y. Madde 148/1-b).

Formül 1.2'ye göre hesap yapıldığında 5. katta ihtiyaç duyulan toplam kaçış yolu genişliği;

323 x 0,4 = 129,2 ~ 130 cm (Güvenli tarafta kalmak adına yukarı yuvarlanmıştır.)

çıkmaktadır.

B.Y.K.H.Y. madde 147/5'e göre binada birbirine alternatif 2 merdiven düzenlenmesi ve birinin korunumlu olması gerekmektedir. Yapılan hesaba göre bu iki merdivenin toplam genişliği 130 cm olmalıdır. Ancak bir merdivenin genişliği 70 cm' den az olamayacağı için toplam genişliğin en az 140 cm olması gerekmektedir.

Ayrıca B.Y.K.H.Y. madde 152'de yangın merdiveninin basamak ölçüleri; yüksekliği 18 cm, ayak basma genişliği 20 cm olacak şekilde tanımlanmıştır.

Hesaplanan genişlikteki kaçış yollarında kullanılacak kapıların genişliği ise B.Y.K.H.Y. madde 157'ye göre en az 70 cm, yüksekliği ise en az 190 cm olmalıdır. Ayrıca en az 60 dk. yangına dayanıklı ve duman sızdırmaz özellikte olması, kendiliğinden kapanır olması ve kullanıcı sayısı 50 kişiyi geçen katlarda kaçış yönüne açılması, eğer 100 kişiyi geçiyorsa kilit sistemi olarak panik bar kullanılması gerekmektedir.

Merdivenlere ulaşmak için kat edilecek mesafe B.Y.K.H.Y. madde 147'den atıfla Ek-14'te (Tablo 2.4) belirtilmiştir. Bu kaçış mesafeleri madde 147/4' e göre ½ oranında arttırılabilir ancak bina sirkülasyon merdivenlerinin korunmuş olması, şaftların yatayda korunmuş olması ve binada kolay yanıcı malzeme kullanılmıyor ve bulundurulmuyor olması gerekmektedir. Buna göre tek yönde en fazla 15mt, çift yönde en fazla 45 mt içerisinde veya artırım uygulanacaksa tek yönde en fazla 22,5 mt, çift yönde en fazla 67,5 mt içerisinde madde 147/5'te belirtilen kaçışlardan birine ulaşılması gerekmektedir. Eğer ulaşılmıyorsa ek kaçış yolu/yolları tasarlanması gerekecektir.

Tablo 2.4 Çıkışlara götüren en uzun kaçış uzaklıkları (B.Y.K.H.Y., Ek Tablo 14)

Kullanım Sınıfı	Tek yön en çok uzaklık (m)		İki yön en çok uzaklık (m)
	Yağmurlama sistemi yok	Yağmurlama sistemli	Yağmurlama sistemi yok
Yüksek Tehlikeli Yerler	10	20	20
Endüstriyel Amaçlı Yapılar(1)	15	25	30
Yurtlar, Yatakhaneler	15	30	45
Mağazalar, Dükkânlar, Marketler	15	25	45
Büro Binaları	15	30	45

Otoparklar ve Depolar[1]	15	25	45
Okul ve Eğitim Yapıları	**15**	30	**45**
Toplanma Amaçlı Binalar	15	25	45
Hastaneler, Huzurevleri	15	25	30
Oteller, Pansiyonlar	15	20	30
Apartmanlar	15	30	30
[1]Kolay alevlenici ve yoğun duman çıkarıcı malzeme bulundurulmayan endüstriyel tesis ve depolarında uzaklık en çok 2 katına kadar artırılabilir.			

2.2.2. Yangın dolapları, su alma ağzı ve su verme ağzı

B.Y.K.H.Y madde 164' ten atıf ile, madde 94' e göre, her katta 30 mt aralıklar (yürüyüş yolu) ile, içinde 30 mt uzunluğunda, 25 mm çapında, yarı-sert yuvarlak hortumu olan ve ucundaki lansın püskürtme/kapama/fiskiye özelliklerine sahip yangın dolapları olması ayrıca hat üzerinde veya ayrıca çekilecek kuru boru tesisatı üzerinde itfaiye personeli veya eğitimli personelin kullanması için, 50 mm veya 65 mm çapında su alma ağızları bulunması gerekmektedir. Yangın dolapları için güvenli bir su kaynağı sağlanması şarttır. Yangın tesisatı olarak sadece yangın dolabı olan ve yüksek tehlike sınıfına girmeyen binalarda, şehrin su şebekesi güvenli su kaynağı olarak kabul edilmiştir. Fakat aynı zamanda su basıncının tüm dolaplarda en az 4 bar olması şartı da vardır. Bu değerden daha düşük basınca sahip yangın dolabı var ise sadece şehir şebeke suyu yeterli olmayacaktır. Böyle bir durumda en az 12 tonluk su deposu ve 1 adet asıl, 1 adet yedek pompadan oluşan bir su kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Yangın pompalarının, elektrik kesintilerine karşı, binanın genel elektrik sisteminden ayrı tasarlanmış güvenilir bir kaynaktan (jeneratör) enerji beslemelerinin yapılmış olması veya dizel tahrikli yedek bir motor olması gerekmektedir.

B.Y.K.H.Y. madde 166'dan atıf ile, madde 97'ye göre de binanın yangın dolabı (Görsel 2.1) tesisatına ve ayrıca varsa su alma ağzı tesisatına, bu sistemlerde arıza olması ihtimaline karşı, itfaiye ekiplerinin tesisata su verilebilmesi için İtfaiye Su Verme Ağzı (Görsel 2.2) tesis edilmesi gerekmektedir. Bu ağız 2 adet 65 mm'lik stroz tip rakordan ve suyun tesisattan geri kaçmasını engellemek için çek valf ve vanalardan oluşmalıdır. İtfaiye su verme ağzının bina üzerinde yerleştirileceği nokta, itfaiye araçlarının binaya yaklaşabildiği en yakın noktadan en fazla 18 mt uzakta olacak şekilde seçilmelidir.

Tüm bu sistemlerin B.Y.K.H.Y. madde 164'ten atıf ile madde 94/7'ye göre bina sorumlularınca yetkili fen adamlarına periyodik bakımlarının yaptırılması gerekmektedir.



Görsel 2.1 Yangın Dolabı ve Su Alma Ağzı (İtfaiye Arşiv, 2023)



Görsel 2.2 İtfaiye Su Verme Ağzı (İtfaiye Arşiv, 2023)

2.2.3. Yangın algılama ve uyarı sistemleri

B.Y.K.H.Y. madde 161'den atıf ile madde 75'e göre örnek binada hem el ile manuel olarak devreye giren alarm butonu ve korna sistemi hem de otomatik olarak yangını algılayıp alarm verecek merkezi sistem yangın algılama dedektörlerinin tesis edilmesi gerekmektedir. Genel olarak duman dedektörü kullanılması önerilmektedir. Ancak duman dedektörlerinin yeterli gelmeyeceği faaliyet türlerinde (yanıcı – parlayıcı malzemelerin bulunduğu bölümler gibi) alev veya ısı dedektörleri de kabul edilmektedir. Otomatik yangın algılama ve uyarı kullanılması zorunlu olan bina ve faaliyet tipleri B.Y.K.H.Y. Ek-7'de gösterilmiştir. (Tablo 3.1)

Otomatik algılama sistemleri TS EN 54-14' e göre tasarlanıp, tesis edilmeli ve periyodik bakımları yapılmalıdır.

Tablo 3.1 Otomatik algılama sistemi gereken binalar, (B.Y.K.H.Y., Ek Tablo 7)

		Yapı Yüksekliği (m)	Bina Toplam Kapalı Alanı (m^2)
1. Konutlar		>51,50	-
2. Konaklama Amaçlı Binalar		>6,50	>1000
(*)			
4. Büro Binaları		>30,50	>5000
(*)			
(*)			
(*)			
8. Depolar		>6,50	>5000
9. Yüksek Tehlikeli Yerler		>6,50	>1000
[1] Sebze ve meyve halleri, balık halleri, et borsaları, metal yedek parça bulunan yerler ile benzeri yangın riski olmayan yerler hariç. [2] Metal işleme ve montaj vb yangın riski olmayan yerler hariç.			

*(*) Danıştay Onuncu Dairesinin 28/12/2021 tarihli ve Esas No:2019/261; Karar No:2021/5537 sayılı kararı ile bu ekte yer alan **"3. Kurum Binaları (Eğitim Tesisleri,** Yataklı Sağlık Tesisleri, Ayakta Tedavi ve Diğer Sağlık Tesisleri)", "5. Ticaret Amaçlı Binalar", "6. Endüstriyel Amaçlı Yapılar", "7. Toplanma Amaçlı Binalar (Yeme İçme, Eğlence, Müze ve Sergi Alanları, Terminaller) düzenlemelerine yönelik kısımlarının iptaline karar verilmiş olup, Danıştay İDDK'nın 22/2/2023 tarihli E.:2022/2463, K.:2023/317 sayılı Onama kararı ile mezkûr karar kesinleşmiştir.*



Görsel 3.1 Duman Dedektörü ve Santrali, (İtfaiye Arşiv 2023)



Görsel 3.2 Flaşörlü Alarm Sireni ve İhbar Butonu, (İtfaiye Arşiv 2023)

2.2.4. Acil durum aydınlatma sistemi ve yönlendirme levhaları

B.Y.K.H.Y. madde 72 ve 73'e göre acil durumlarda elektrik şehir şebekesinin veya bir dış elektrik beslemesinin kesilmesi durumunda, kaçış yollarını en az 120 dk. boyunca aydınlatacak armatürler (Görsel 4.2) ve kaçış yolarını gösterecek işaretçi levhalar tesis edilmek zorundadır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde acil aydınlatmanın kendi başına çalışabilen bataryalı armatürler ile (Şekil 4.1) yapılması zorunludur.



Görsel 4.1 Kendinden Bataryalı Bağımsız Acil Durum Aydınlatma Armatürü, (İtfaiye Arşiv, 2023)



Görsel 4.2 Acil Durum Aydınlatma Kitli Armatür, (İtfaiye Arşiv, 2023)





Görsel 4.3 Yönlendirme Levhası ve Yangın Söndürme Cihazı (Y.S.C.) Uygulama Örneği, (İtfaiye Arşiv, 2023)

2.2.5. Yangın söndürme cihazları ve bakımı

B. Y.K.H.Y. madde 99'a göre orta tehlike sınıfında bir binanın her 250 m²'sine 1 adet olacak şekilde, kuru tozlu veya uygun tipte gazlı Y.S.C.'lerin temin edilmesi gerekmektedir. Araları yürüyüş mesafesi ile 25 mt. olacak şekilde, engelsiz ve kolay erişimi olan yerlere, yangın dolapları hariç açıkta olacak şekilde yerleştirilmesi ve uyarı levhalarının asılması gerekmektedir. (Görsel 4.3)

Periyodik bakımları TS ISO 11602-2 standardına göre; senede 1 kere genel bakım, 4 senede 1 kere gaz ve toz değişimi ve hidrostatik testi olacak şekilde, TSE Hizmet Yeterlilik Belgesi olan bir firmaya yaptırılmalıdır.

2.2.6. Asansör şaftının havalandırılması

B.Y.K.H.Y. madde 160'a göre, olası bir yangın sırasında asansör şaftına birikmesi/kaçması muhtemel dumanın tahliye olması için, kuyunun tepesinde açık alana ulaşan ve şaft alanının 0,025 katı büyüklüğünde ve fakat 0,1 m²'den küçük olmayan bir havalandırma menfezi bulunması gerekmektedir.

2.2.7. Kablolar ve elektrik sistemi

B.Y.K.H.Y. madde 162'den atıfla madde 83 göre mevcut binalarda elektrik tesisatının standart ve yönetmeliklere uygun olduğuna dair, ilgili branşında uzmanlığı olan bir fen adamınca kontrol edilmesi ve raporlanması gerekmektedir.

2.2.8. Yangın güvenliği ekipleri, acil durum eylem planı ve temel yangın eğitimleri

B.Y.K.H.Y. madde 124 – 125 – 126 – 127 – 128 – 129 – 130' a göre konutlar hariç 50 kişiden fazla insan bulunan yapılarda yangın güvenliği için söndürme, kurtarma, koruma ve ilk yardım ekiplerinin kurulması, acil durum eylem planı hazırlanması, ekiplerin temel eğitimlerin yapılması ve senede 1 kere söndürme ve tahliye tatbikatı yapılması gerekmektedir.

3. GÖZLEMSEL İNCELEMELER SONUCUNDA TESPİT EDİLEN BULGULAR

3.1 Bina Çevresi

Yapılan incelemede;

- Binanın sağ ve sol cephesine bitişik bulunan tek katlı prefabrik yapıların (boş depo alanı ve kantin) çatılarında kurumuş çam iğnelerinin biriktiği (Görsel 5.1),

tespit edilmiştir.



Görsel 5.1 Bina dış alandaki kurumuş çam iğneleri

3.2 Kaçış Merdivenleri, Kaçış Yolları ve Kaçış Kapıları

Yapılan incelemede;

- Binada 3 tanesi dahili, 1 tanesi dış açık olmak üzere, toplamda 4 adet merdiven olduğu, dördünün de genişlik olarak 70 cm'den büyük olduğu, (Görsel 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6).



Görsel 5.2 Asansör kovası arkası Dahili Korunumsuz Merdiven (M2)



Görsel 5.3 Bina dışı açık Korunumsuz Merdiven (M4)



Görsel 5.4 Asansör tarafı dahili korunumsuz merdiven (M1)



Görsel 5.5 Tuvaletler tarafı korunumsuz dahili merdiven (M3)



Görsel 5.6 Merdivenlerin binadaki yerleşimi

- Hiçbir merdivenin korunumlu olmadığı, aynı zamanda dış açık merdivenin (M4) 7. kata kadar ulaşmadığı, (Görsel 5.7)



Görsel 5.7 7. kat M4 merdiven üstü teras ve 6. katta M4 merdiveninin bittiği alan

- Dahili merdivenlerden birinin (M2) bazı katlarda, kat kot seviyelerinin kapatılarak odaya çevrildiği ve bu nedenle merdiven özelliğini kaybettiği, (Görsel 5.8)



Görsel 5.8 Kat taban kotundan kapatılıp odaya çevrilen M2 merdiveni

- Kat projelerinde ve yerinde yapılan ölçümlerde kaçış mesafelerinin çift yönde 45 mt'yi, tek yönde 15 mt'yi geçmediği,
- 7. kat Mimari Uygulama atölyesi, sınıfın girişinde ve ara geçişinde manuel veya elektronik yatay eksende çalışan kapılar (y.e.ç.k.) olduğu, (Görsel 5.9)



Görsel 5.9 7. kat mimari uygulama sınıfı girişi ve ara geçişteki y.e.ç.k.

- 704, 509, 501, 302, 301 numaralı bölümlerde dışa doğru açılır 2. çıkış kapısının bulunmadığı, (Görsel 5.10)



Görsel 5.10 2. çıkış olmayan örnek bağımsız bölüm (509)

- 201 ve 202 numaralı bağımsız bölümlerde 2. çıkış kapısının bulunduğu ancak yönlerinin ters ve önlerinde sabit sıraların bulunduğu, (Görsel 5.11)



Görsel 5.11 İkinci çıkış olan ancak yönü ters ve önü kapalı olan örnek bağımsız bölüm (201)

- B.11 ve B.12 numaralı bölümlerin mutfak ve yemekhane olarak kullanıldığı içeride herhangi bir pişirme işleminin yapılmadığı, 2. çıkış kapısının mevcut olduğu ancak kaçış yönüne açılmadığı, (Görsel 5.12)



Görsel 5.12 İçe doğru açılan yemekhane ve mutfak kapıları

- 507, 4. kat amfi derslik, 410, 409 numaralı bölümlerin 2. çıkışlarının bulunduğu ve kaçış yönüne açıldığı, önlerinin açık ve kullanılabilir olduğu, (Görsel 5.13)



Görsel 5.13 Çıkış kapıları uygun örnek bağımsız bölüm (4. kat amfi derslik)

· Zemin katta bina son çıkış kapılarından hiçbirinin 90^0 dışarı açılır olmadığı (Görsel 5.14) ve M3 ve M4 merdivenlerinin sonunda bulunan elektronik y.e.ç.k. ile demir parmaklıklı kapının kilitli olduğu, (Görsel 5.15)



Görsel 5.14 Zemin katta yatay eksende çalışan kapılar



Görsel 5.15 M3 ve M4 merdivenlerinin sonundaki kilitli kapılar

tespit edilmiştir.

3.3 Yangın Dolapları, Su Alma ve Su Verme Ağızları

Yapılan incelemede;

- Her katta, kat koridorunun iki ucunda olmak üzere, içi 30 mt uzunluğunda ve 2.5 mm çapında plastik hortumlu, hortum ucunda lansı bulunan yangın dolaplarının bulunduğu, yangın hortumlarının bağlandığı ağzın aynı zamanda su alma ağzı olarak da kullanılabileceği, (Görsel 6.1)



Görsel 6.1 Örnek Yangın dolabı, su alma ağzı ve lans (7. Kat)

- Yangın dolaplarının, bodrum katta bulunan 6 m³'lük su deposuna, 2 adet elektrikli pompa ile bağlandığı (Görsel 6.2), bu su deposunun 15 m³'lük kullanım suyu deposu ile desteklendiği, (Görsel 6.3)



Görsel 6.2 Yangın suyu deposu ve pompa sistemi





Görsel 6.3 Ana kullanım suyu ve yedek besleme hattı

- Yangın pompalarının ikisinin de elektrik ile çalıştığı ve bir jeneratöre bağlı olmadığı,
- Yangın pompa sistemi ve yangın tesisatlarının bakımının yapılmadığı veya yaptırılmadığı,
- Binada su verme ağzının bulunmadığı,

tespit edilmiştir.

3.4 Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri

Yapılan incelemede;

- Binada yangın algılama sistemi olarak duman dedektörlerinin bulunduğu,
- Duman dedektörlerinin bazılarının TS EN 54-14'e uymayan şekilde montaj ve uygulama yapıldığı (Görsel 7.1), (Örn.: Dedektörlerin hava girişlerine 0,5 m'den daha yakınına monte edilmesinin uygun olmadığı bilinmektedir. (TSE CEN/TS 54-14:2018))



Görsel 7.1 Örnek uygunsuz uygulama

- Bazı duman dedektörlerinin toz koruma kapaklarının takılı olduğu (Görsel 7.2),



Görsel 7.2 Turuncu toz koruma kapakları (Örn.: B.10 No' lu oda)

- Bazı asma tavan içlerine ve her tavan havuzuna dedektörlerin tesis edilmediği (Örn.: 7. kat mimari uygulama atölyesi),
- Uyarı sistemi olarak duman dedektörleri ve alarm butonları kullanıldığı ve flaşörlü sirenlere bağlı olduğu (Görsel 7.3),



Görsel 7.3 Flaşörlü alarm sireni zemin kat

- Duman dedektörleri ve alarm korna-butonlarının bir santrale bağlı olduğu ve santralin sürekli personel bulunan bir alanda olduğu,
- Katlarda bulunan alarm butonlarının bazılarının yerlerinden çıkmış olduğu (Görsel 7.4),



Görsel 7.4 Örnek kırık alarm butonu 2. Kat

· Yangın algılama sisteminin bakımının standart periyodlarda yaptırılmadığı,

tespit edilmiştir.

3.5 Acil Durum Aydınlatma Armatürleri ve Yönlendirme Levhaları

Yapılan incelemede;

· Her katta yönlendirme levhalarının bulunduğu (Görsel 8.1),

· Binada harici tip acil durum aydınlatma armatürlerinin bulunmadığı,



Görsel 8.1 Örnek Yönlendirme Levhaları 5. Kat

tespit edilmiştir.

3.6 Yangın Söndürme Cihazları

Yapılan incelemede;

- Binada yangın söndürme cihazlarının bulunduğu ancak bakım ve sayıları ile ilgili herhangi bir envanter tutulmadığı,
- Bazılarının bakım tarihlerinin geçmiş ve gazlarının özelliğini yitirdiği (Görsel 9.1),



Görsel 9.1 Örnek bakım tarihi geçmiş ve gazı özelliğini yitirmiş yangın söndürme cihazları

tespit edilmiştir.

3.7 Asansör Şaftının Havalandırması

Yapılan incelemede;

- Asansör şaftının tepesinde herhangi bir havalandırma menfezi olmadığı (Görsel 10.1),



Görsel 10.1 Asansör şaftı sonu

- Asansör şaftının, 7. katta sonlandığı, üzerinde kapalı bir hacim olduğu, buradan da açık alana bir menfez olmadığı,

tespit edilmiştir.

3.8 Elektrik Tesisatı

Yapılan incelemede;

- Yeni laboratuvarlar kurulduğu, dersliklerin birleştirilip büyütüldüğü, merkezi sistem klima santralleri ile iklimlendirme yapıldığı, kullanım suyu ve yangın sistemi için pompalar kurulduğu, tüm bunların binanın orijinal elektrik sisteminde değişiklikler ve/veya eklemeler anlamına geldiği,

anlaşılmıştır.

3.9 Yangın güvenliği ekipleri, acil durum eylem planı ve temel yangın eğitimleri

Yapılan incelemede;

- Acil eylem planı yapılmadığı, haliyle acil durum ekiplerinin bulunmadığı, temel yangın eğitimlerinin alınmadığı ve senelik tatbikatların yapılmadığı,

anlaşılmıştır.

4. YANGIN ÖNLEMLERİNİN B.Y.K.H.Y.'E UYGUN HALE GELMESİ İÇİN ÖNERİLER

4.1 Kaçış Merdivenleri ve Kapıları

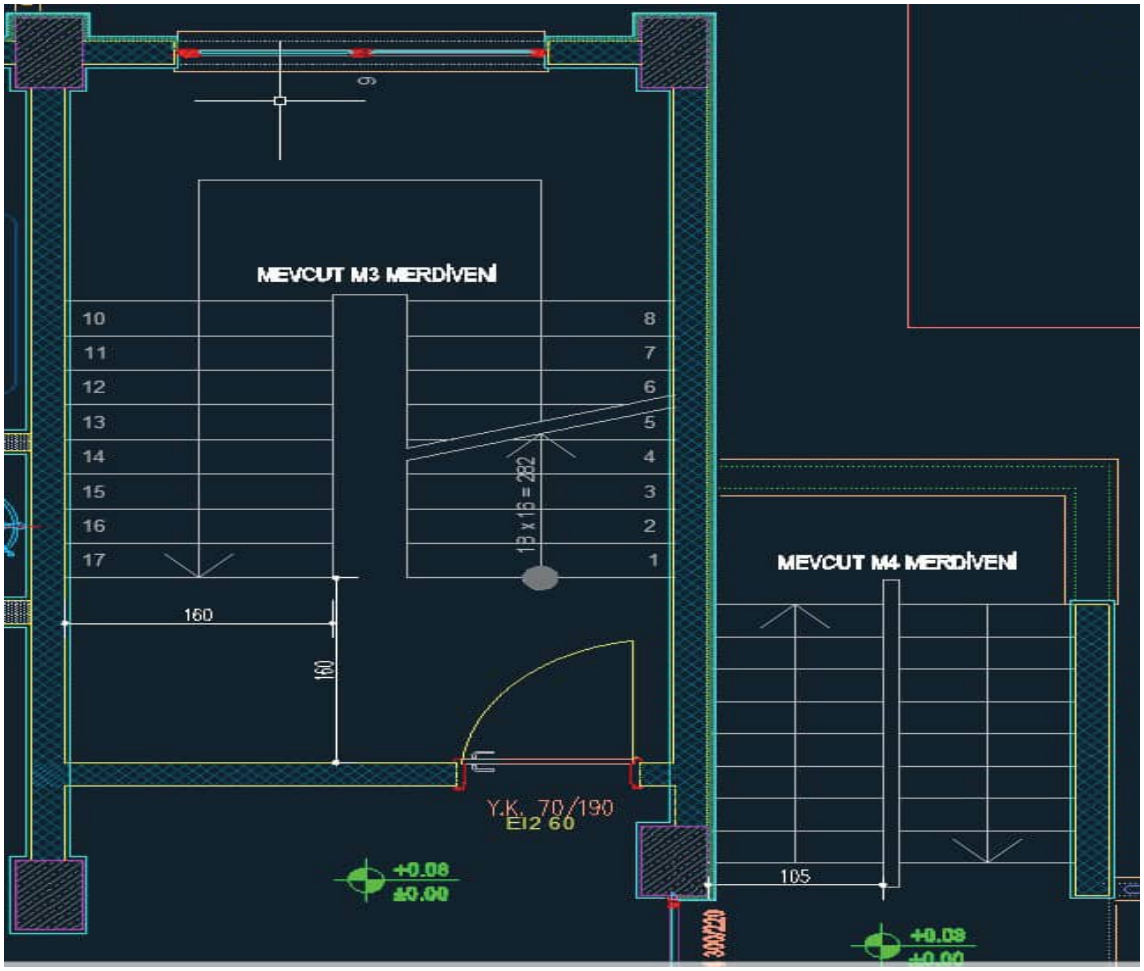
Yapılan kullanıcı sayısı hesabına ve 3. bölümde bahsi geçen B.Y.K.H.Y maddelerine göre, binada kaçış için kullanılmak üzere en az 70 cm genişliğinde, basamak yüksekliği 18 cm, basamak ayak basma genişliği 20 cm olan, biri korunumlu olmak üzere 2 adet merdiven olmak zorundadır. Bu durumda mevcut merdivenlerin dördününde özellikleri korunumlu hale getirilerek yangın merdiveni olarak kullanılmaya uygundur.

Ancak M2 merdiveni hem katların taban seviyesinden kapatılıp oda olarak kullanılmaya başlanarak merdiven özelliğini yitirdiği, hem de bodrum kata hitap etmediği için kaçış merdiveni olarak kullanılamaz.

M1 merdiveni ana giriş kapasının olduğu lobi bölümünde olduğu için ve aynı zamanda asansör şaftlarıyla iç içe olduğu için korunumlu hale getirilmesi durumunda asansör şaftı korunumun içinde kalacaktır. Bu durum her ne kadar yönetmelik maddelerine bir aykırılık yaratmasa da gerçekçi bir bakış açısı ile irdelendiğinde asansörün kendinde çıkabilecek bir yangının binanın tek korunumlu merdivenine duman dolmasını sağlayarak kullanımını engelleyeceği sonucu çıkmaktadır.

M4 merdiveni ise tüm katlara hitap etmemekte, 6. katta sonlanmaktadır. Betonarme bir merdiven olduğu için 7. kata ulaştırmak adına yapılacak çalışma oldukça masraflı ve bina statiği açısından (7. kat tuvalet tarafı teras döşemesinin kesilmesi gerekmektedir.) riskli olup olmadığının araştırılması gereken bir durum ortaya çıkmaktadır. Ayrıca içerisinden kapakları PVC malzeme olan (A1 malzeme olmayan) şaftlar geçmektedir.

Öte yandan M3 merdiveni olduğu haliyle her kata hitap etmektedir. Yapılacak tadilat diğerlerine göre çok daha basit olacaktır. (Görsel 11.1) Bu merdiven hali hazırda binanın kullanılan iki merdiveninden biridir. Bir yangın durumunda oluşacak duman açık merdivenden üst katlara yükselecek, dumanı gören üst kat kullanıcıları M3 merdivenini alternatif olarak hatırlayabileceği için hareketleri otomatik olarak bu merdivene yönelecektir. M3 merdiveninin korunumlu hale getirilerek ana kaçış yolu olarak kullanılması önerilmektedir.



Görsel 11.1 M3 Korunumlu Merdiven

Korunumlu merdiven oluşturmak için her katta merdiven genişliği kadar sahanlık bırakarak, A1 malzeme (Tablo 4.1) ile taban kotundan tavan kotuna kadar duvar örülerek merdiven kovası oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 4.1 Ek-2/C Yanıcılık Sınıfı A1 Olan Yapı Malzemeleri (B.Y.K.H.Y, 2007)
(Test edilmeye gerek olmadan Yanıcılık Sınıfı A1 ve $A1_{fl}$ Olarak Değerlendirilen Malzemeler)

Malzeme	Notlar
Genleşmiş kil, genleşmiş perlit ve genleşmiş vermikülit, mineral yün, selüler cam	
Beton	Hazır karıştırılmış beton ve prekast betonarme öngerilmeli ve ön sıkıştırmalı malzemeler
Beton (integral ısı yalıtımlı olan agregalar hariç yoğun ve hafif) mineral agregalar)	Katkı maddeleri ve ilaveler (örneğin: PFA), pigmentler ve diğer malzemeleri içerebilir. Prekast birimleri de kapsar.
Gaz (gözenekli) beton üniteler	Çimento ve/veya kireç gibi su bazlı bağlayıcıların ince maddeler (silisli maddeler, PFA, uçucu fırın cürufu) ve gözenek üreten maddeler ile birleşmesiyle üretilen birimler. Prekast birimleri de kapsar.
Çimento, elyaflı (telcikli) çimento ve kireç, yüksek fırın cürufu/toz uçucu kül (PFA) ve mineral agregalar	
Demir, çelik ve paslanmaz çelik, bakır ve bakır alaşımları, çinko ve çinko alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları, kurşun	Tamamen ayrı bir formda olmamak üzere (şekilsiz)
Alçı ve alçı bazlı sıvalar	Katkı maddeleri (geciktiriciler, dolgu maddeleri, lifler, pigmentler, hidrata olmuş kireç, hava ve su tutucular ve plastikleştiriciler), yoğun agrega (örneğin: doğal veya kırma kum) veya hafif agregalar (örneğin: perlit veya vermikülit) içerebilir.
İnorganik bağlayıcı elemanları olan harçlar	Düzeltme/sıvama harçları ve bir veya birden fazla inorganik bağlayıcıya dayanan şaplar, örneğin: çimento, kireç, duvar çimentosu ve alçı.
Killi malzemeler	Kilden ve kum, yakıt veya diğer katkı maddeleri içeren veya içermeyen diğer killi maddelerden yapılmış birimleri, tuğlaları, karoları, döşeme karoları ve şömine birimlerini (örneğin: baca tuğlaları) kapsar.
Kalsiyum silikat birimler	Kireç ve doğal silisli maddelerden (kum, silisli çakıl veya kaya veya bunlardan yapılmış karışımlar) yapılmış birimler, renklendirici pigmentler içerebilir.
Doğal taş ve arduaz birimler	Doğal taşlardan (magmatik, tortul veya metamorfik kayalar) veya arduazlardan elde edilmiş işlenmiş veya işlenmemiş elemanlar.
Alçı birimler	Agregalar, doldurucular, lifler ve diğer katkı maddeleriyle birleşen ve pigmentlerle renklendirilebilen kalsiyum sülfat ve sudan oluşan birimleri ve blokları kapsar.
Çimento mozaik	Karo mozaikleri ve yerinde dökme yer döşemelerini kapsar.
Cam	Isı ile güçlendirilmiş, kimyasal olarak katılaştırılmış, lamine ve telli cam.
Cam seramik	Billur ve artık cam içeren cam seramikler.
Seramik	Toz preslenmiş ve kalıptan çıkarılmış malzemeleri kapsar, sırlanmış veya sırlanmamış.
Genel Notlar Malzemeler eğer test edilmeden A1 ve $A1_{fl}$ sınıfı olarak değerlendiriliyor ise, yukarıdaki malzemelerden sadece bir veya birkaçından oluşmalıdır. Yukarıdaki malzemelerden bir veya birkaçı yapıştırılarak elde edilen malzemeler de yapıştırıcı madde ağırlık veya hacim olarak (hangisi daha düşük değerde ise) % 0.l' i geçmediği taktirde, A1 ve $A1_{fl}$ sınıfı olarak kabul edilirler. Bir veya birden fazla organik katmanı olan veya homojen olarak dağılmayan (yapıştırıcı dışında) organik madde içeren, panel malzemeler (Örn: izolasyon malzemeleri) listenin dışında bırakılmıştır. Yukarıdaki malzemelerden birinin inorganik bir katman ile kaplanması ile oluşan malzemeler (Örn: kaplanmış metal malzemeler) de test edilmeksizin A1 ve $A1_{fl}$ sınıfı olarak kabul edilebilir. Tablodaki malzemelerden hiçbirisinin, bünyesinde ağırlık veya hacim olarak (hangisi daha düşük değerde ise), %1,0'dan fazla homojen dağılımlı organik madde içermesine izin verilmez.	

Ayrıca oluşturulan merdiven kovasına giriş çıkışların, $EI_2$60 özelliğinde yangın kapısı ile sağlanması, kapıların standart kapı kolu yerine kullanıcı yükü 100 kişiyi geçtiği için panik bar ile açılması gerekmektedir. (Görsel 11.2)



Görsel 11.2 Örnek Panik Barlı Yangın Kapısı, (İtfaiye Arşiv, 2023)

704, 509, 501, 302 ve 301 numaralı bağımsız bölümlerde 2. çıkış kapıları bulunmamaktadır. Ancak Ek-1 Tablo 2.3'teki kullanıcı yükü hesabına göre kullanıcı sayısı 60 kişiyi geçtiği için dışa (kaçış yönüne) açılır, en az 70 cm x 190 cm ölçülerinde, 2 adet kapısı olması gerekmektedir.

201 ve 202 numaralı bölümlerde 2 adet çıkış kapısı vardır ancak 1 tanesi sınıfın içine doğru açılmakta ve önünde sabit sıralar olduğu için aktif olarak kullanılamamaktadır. Kapının önündeki sıraların kaldırılarak kapı yönünün koridora doğru olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

7. kat Mimari Uygulama Atölyesinin 2 adet çıkışı vardır. Ancak M1 merdiveni tarafındaki kapı y.e.ç.k.' dır. 90^0 kaçış yönüne açılır kapı olarak düzenlenmeli, sınıf ortasındaki cam bölme kaldırılmalı, kullanılması gerekiyorsa çift yöne, 90^0 açılır olarak düzenlenmelidir.

B.11 ve B.12 numaralı bölümler birleşik olarak yemekhane ve mutfak olarak kullanılmaktadır. Kullanıcı yüküne göre 2 adet çıkış kapısı olması gerekmektedir. Kapılar yerinde mevcuttur ancak kaçış yönüne açılacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Ek-1'de kullanıcı sayısı 60 kişiyi geçmeyen odalar görülmektedir. Ancak bu odalar her ne kadar alan hesabına göre 2. çıkış gerektirmese de içerisinde 60'tan fazla sandalye bulunduğu tespit edilen bağımsız bölümler vardır. (Görsel 11.3) Bu odalardaki sandalye sayılarının 60 adetin altına düşürülmesi ya da bu bölümlerden de 2. çıkış kapısı açılması gerekmektedir.



Görsel 11.3 Alan hesabına göre 2. çıkış gerektirmeyen ancak sandalye sayısı 60 adeti geçen örnek sınıf (508)

Merdivenlerden tahliye olan kullanıcıların zemin katta bina dışına çıkabilmeleri için 15 metre içerisinde 90^0 kaçış yönüne açılır kapılara ulaşması gerekmektedir. Bu yüzden bina ana giriş kapısının ve M3 merdiveni sonundaki y.e.ç.k.'nın, 90^0 kaçış yönüne açılır panik barlı kapı olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca M3 korunumlu merdivende, tahliye sırasında yanlışlıkla bodrum kata inilmesini engellemek için zemin katta fiziksel engel ya da bina dışına tahliye katı olduğunu belirtir uyarıcı levhalar kullanılması gerekmektedir.

4.2 Yangın Dolapları, Su Tankı ve Pompa Sistemi, Su Verme Ağzı

Sadece yangın dolaplarına hitap eden su deposu en az 12 m^3'lük olmalıdır. Mevcut durumda binada sadece yangın dolabı suyu deposu 6 m^3'tür. Yedek kullanım suyu deposu ile 21 m^3'lük su hacmine ulaşılsa da yangın su deposuna giden yedek hat kullanım suyunu normal bina şebekesine dağıtan kolektörden alındığı için bina şebekesinin yangın su deposunun yedek suyunu kullanma ihtimali vardır. Yangın su deposu yedek hattı, kolektörden değil de kolektörün kullanım suyu deposuna bağlandığı noktanın yukarısından bağlanırsa (eksik kalan 6 m^3'lük hacmi sağlayacak kadar) toplam hacim 12 m^3 kabul edilebilir. Ya da sadece yangın tesisatı deposu olarak kullanılmak üzere yeni bir 12 m^3'lük su deposu sisteme bağlanmalıdır.

Yangın pompası olarak 2 adet elektrikli motor seçilmiştir. Ancak yangın anında müdahale eden ekiplerin elektrik şebekesini kapatması veya yangının etkilerinden dolayı (elektrik kısa devre, aşırı ısıdan kablo kopması vb.) elektriğin kesilmesi durumunda pompaların enerjisinin kesilmeyip yangın dolaplarına veya su alma ağızlarına su pompalamaya devam edebilmesi için pompaların bina şebekesinden bağımsız bir jeneratöre bağlanması gerekmektedir.

Yangına müdahale edecek, profesyonel yangın müdahale ekiplerine zaman kazandırmak amacı ile yangın dolaplarının içerisinde su alma ağızları bulunmaktadır. Bu sisteme de 2 adet yangın pompası ile su basılmaktadır. Ancak her ne kadar yangın pompaları yedekli olsa veya jeneratör ile enerjilerinin kesilmesine karşı önlem alınmış olsa da pompa sisteminin çalışmaması riskine karşı, yangın dolabı ve su alma ağzı sistemine yangına müdahale araçlardan su basabilmek için bina dış cephesine su verme ağzı yapılması gerekmektedir.

Yangın su deposu ve pompa sistemi, su alma ve verme ağızları, yangın dolapları ve tüm bunların tesisatından oluşan sulu söndürme sistemi, yangın söndürme tesisatı konusunda uzman bir makine mühendisince periyodik olarak kontrol edilmeli, gereken noktalara bakım ve onarımlar yapılmalıdır. Tüm bu işlemler için ildeki T.M.M.O.B. şubesinden destek alınması önerilmektedir.

4.3 Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri

Yangın algıma sistemi olarak duman dedektörleri ve alarm butonları kullanılmıştır. Genel olarak her katta duman dedektörü ve buton vardır. Ancak duman dedektörlerinin montajında, TS EN 54-14 standartlarına uyulmayan noktalar olmuştur. (Örn.: Birçok bölümde dedektörler havalandırma kanallarına, standardın ön gördüğü uzaklık olan 50 cm' den daha yakın monte edilmiş, tavandaki her bir havuzda dedektör olması gerekirken atlanılan boşluklar olmuştur. (Örn.: 704 numaralı bağımsız bölüm)

Birçok duman dedektörünün arıza moduna geçtiği, kırmızı arıza sinyal ışığının sürekli yanıp söndüğü tespit edilmiştir.(Örn.: 7. kat asansör makine dairesi) Yerinde inceleme sırasında arızalı bir dedektör sebebiyle alarm sirenleri çalışmaya başlamış ve yanlış alarm olduğu anlaşıldığında sirenler kapatılmıştır.

Bu durumun sürekli tekrarı binada bulunan insanların gerçek bir yangın olması durumunda çalışmaya başlayacak sirenlere karşı geç tepki vermesine ya da yangın emarelerini göresiye kadar hiç tepki vermemesine sebep olacaktır ki bu durum yangın uyarı sisteminin temel amacıyla taban tabana zıttır.

Alarm butonlarının bazı katlarda kırık olduğu tespit edilmiş olup tamir-bakımlarının yapılması, yeni yapılacak olan korunumlu merdiveninin kapısının yanına da alarm butonu tesis edilmesi gerekmektedir.

Yangın algılama ve uyarı sisteminin periyodik kontrol ve bakımlarının, ilgili branşta konusunda uzman bir fen adamınca standartta ön gördüğü süre ve şekillerde yapılması gerekmektedir. Bu konuda ildeki T.M.M.O.B. şubesinden destek alınması önerilmektedir.

4.4 Acil Durum Aydınlatma Armatürleri ve Yönlendirme Levhaları

Bina birinci derece deprem bölgesinde yer aldığı için harici tip kendinden akülü acil durum aydınlatma armatürleri tesis edilerek, kaçış sırasında kullanılacak ortak koridorların, yangın merdivenlerinin, yangın sırasında kullanılacak yangın dolaplarının ve su alma ağızlarının, yangın pompa odasının ve jeneratörün normal aydınlatma sisteminin enerjisinin kesilmesi ihtimaline karşı önlem olarak aydınlatılması gerekmektedir.

Mevcut yönlendirme levhalarına ek olarak yeni yapılacak olan korunumlu merdiveni gösterecek şekilde yönlendirme levhaları tesis edilmesi gerekmektedir.

4.5 Yangın Söndürme Cihazları

Mevcut yangın söndürme cihazlarının yeterli sayıda (32 adet) olacak şekilde temin edilmesi, TSE Hizmet Yeterlilik Belgesi olan bir firma tarafından TS ISO 11602-2 standardına göre bakım ve kontrollerinin senede 1 kere genel bakım, 4 senede 1 kere gaz ve toz değişimi ve hidrostatik testi olacak şekilde yaptırılması gerekmektedir.

Ayrıca tozlu söndürmenin çeşitli sebepler ile (fazla kalıntı bırakması/yanan malzemeden daha fazlasına toz sebebi ile hasar verme ihtimali, yanıcı malzemenin tipi vb.) farklı tipte söndürme cihazı gereken yerlere uygun tipte yangın söndürme cihazları temin edilmesi gerekmektedir.

Yangın söndürme cihazlarının kullanımı ile ilgili personele eğitim verilmelidir.

4.6 Asansör Şaftı Havalandırması

Olası bir yangında asansör şaftında birikecek dumanı tahliye etmek için asansör şaftının tavan betonundan asansör makine dairesine, oradan da açık alana bakan en az 0,1 m^2 büyüklüğünde iki adet duman tahliye menfezi açılması gerekmektedir. Ayrıca asansör şaftı içerisine de duman dedektörü tesis edilmesi gerekmektedir.

4.7 Elektrik Tesisatı ve Şaft Kapakları

Binada yapılan değişikliklerin, binanın yaşı da göz önünde bulundurulduğunda elektrik tesisatında bir risk oluşturup oluşturmadığının tespiti ve paratoner tesisatı için gerekli olan periyodik kontrol ve bakımların ilgili branşta uzmanlığı olan fen adamı tarafından yapılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu konuda ildeki T.M.M.O.B. şubesinden destek alınması önerilmektedir.

Katlarda bulunan elektrik kat panolarının koruma dolapları ahşap malzemeden yapılmış olup bu dolapların yangına dayanıklı malzemeden tesis edilmesi, şaftlarda kullanılan kapakların yangına dayanıklı kapak olarak tesis edilmesi gerekmektedir. Ayrıca kat aralarındaki kablo geçişleri için kullanılan boşlukların yangın durdurucu inşaat malzemesi ile kapatılması gerekmektedir.

Bodrum katta bulunan Elektrik Pano ve UPS oda kapısının $EI_2$60 yangın kapısı özelliğinde kapı olarak düzenlenmesi önerilmektedir.

4.8 Yangın Güvenliği Ekipleri, Acil Durum Eylem Planı ve Temel Yangın Eğitimleri

Bina toplam kullanıcı sayısı 50 kişiyi geçtiği için acil durum eylem planı hazırlanarak, yangın güvenliği ile ilgili ekiplerin oluşturulması gerekmektedir. Mahalli itfaiye teşkilatı ile yapılan ortak çalışmalar ile ekipler yangın konusunda eğitilmeli ve her yıl 1 kere olmak üzere binada tahliye ve söndürme tatbikatı yapılmalıdır.

5. ÖNERİLER VE SONUÇ

Yapılan çalışmadaki örnek binada B.Y.K.H.Y. maddelerine göre olması gereken yangın önlemleri tespit edilmiştir. Yapılan tespitler ortaya çıkarmıştır ki en büyük problem binanın yangına korunumlu bir kaçış yolunun bulunmamasıdır. Mimari proje incelendiğinde M4 merdiveninin korunumlu yangın merdiveni olarak tasarlandığı tespit edilmiştir ancak mevcut haliyle tasarımına ve B.Y.K.H.Y.' e uygun değildir. Ayrıca yangın önlemlerinin bakımı ve güncel yönetmelik ve standartlara uygunluğunun periyodik olarak kontrol edilmediği, güncellemelerin ve gerekli tatbikatların periyodik olarak yapılmadığı tespit edilmiştir.

Yangın önlemlerinin ana amacı, öncelikle yangın oluşma riskini azaltmak, yangın çıkması durumunda ise hızlı bir tahliye ve müdahale sağlamaktır. Bunun sağlanması için de binada yangın önlemlerinin aktif ve sağlam olması, âtıl ve kendi haline bırakılmaması gerekmektedir. Öncelikle binada bu konudan kimin sorumlu olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Tüm yangın önlemlerinin bakım ve kontrolleri periyodik olarak sorumlularca takip edilmeli, arıza durumunda müdahale edilmesi sağlanmalı, en önemlisi de okul binası gibi insan yoğunluğunun fazla olduğu binalarda tahliye tatbikatlarının mutlaka yapılması gerekmektedir.

Yangın önlemlerinin kontrol edilmesi için devlet kurumlarından destek alınabilir. Yapıda ekleme ve/veya büyüme yapılacağı zaman, faaliyet konusu değişeceği zaman veya bu örnekte olduğu gibi bina yaşı fazla olduğu zaman yangın önlemlerinin verimliliğini kontrol etmek amacı ile konunun uzmanı kurumlardan yangın önlemlerinin kontrolü için destek alınmalıdır.

Yapılan çalışmada, özünde tek bir bina örneği üzerinden tespitler yapılmış ve tespit edilen eksikliklerin giderilmesi için önerilerde bulunulmuş olsa da kurumsal binalar genelinde kontrol, bakım ve tatbikat konusunda genel durumun benzer olacağı kanaati oluşmuştur. B.Y.K.H.Y. madde 6 ve 131' e göre binadaki yangın önlemlerinin bakım ve kontrollerinden bina sahibi/yönetimi/işleticisi ve/veya amiri sorumludur. Ancak insan hayatı söz konusu olduğunda yangın önlemlerinin akıbeti sadece bina yetkililerinin sorumluluk, insaf ve inisiyatifine bırakılmamalı, bu kontrollerin yapılıp yapılmadığının devlet eliyle periyodik olarak denetlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden gerekli hukuki ve idari düzenlemeler yapılarak, özellikle tehlike sınıfının yüksek olduğu, kişi yoğunluğunun fazla ve çeşitli olduğu, bina yükseklikleri ve kapalı alan ölçüleri belli limitlerin üzerinde olan ve/veya yatılı hizmetin verildiği binalarda, binanın/işletmenin bağlı olduğu devlet kurumunca sadece ilk faaliyete başlama aşamasında yapılacak kontrol yeterli görülmemeli, periyodik olarak yangın önlemlerinin verimli çalıştığının kontrollerinin yapılması konusunda bina/işletme yönetimleri takip edilmeli ve -gerekirse cezai işlemler ile- yaptırım uygulanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

[1] Kaplan Y., Prof. Dr. Yurdagül S., Güncel Turz. Araş. Dergisi, 2018

[2] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007, No:12937

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Atakan KİREMİTÇİ

11.12.1981 İzmir doğumlu olup ilk ve orta öğrenimini İzmir' de tamamlamıştır. Ön lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Teknikerliği bölümünde, lisans eğitimini Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesinde tamamlamış, yüksek lisans eğitimini İzmir Demokrasi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesinde Afet Yönetimi üzerine yapmıştır.

2008 yılında İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığında İtfaiye Eri olarak göreve başlamış, 2010 yılından itibaren İtfaiye Denetim ve Önleme Şube Müdürlüğünde Denetim Üyesi, Denetim ve Önleme Amiri, Şube Müdürü vekilliği görevlerinde bulunarak yangın önlemlerinin denetimi konusunda tecrübelerini arttırmıştır. 2024 - 2026 seneleri arasında Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin geliştirilmesi adına düzenlenen çalıştay görüşmelerine kurumu adına görev almıştır.

Halen İtfaiye Çavuşu rütbesi ile yangın önlemleri, baca kontrolleri ve parlayıcı – patlayıcı maddeler konusunda her türlü yapı, tesis ve faaliyet türünde denetim görevine devam etmektedir.

Evli ve 1 kız çocuk babasıdır.

MUTFAK YANGINLARI İLE İLGİLİ YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

İrfan ARGUZ
Aliye AYAN

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'de mutfak yangınlarını doğrudan veya dolaylı biçimde etkileyen temel düzenlemeleri karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Çalışmanın odağında Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik ve İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği yer almaktadır. Karşılaştırma; kapsam, tanım seti, önleyici tedbir yaklaşımı, algılama-söndürme sistemlerine ilişkin yükümlülükler, bakım-periyodik kontrol gerekleri ve denetim sorumlulukları başlıklarında yapılmıştır. Bulgular, yangın güvenliğinin bina ölçeğinde güçlü biçimde tanımlandığını; ancak ticari mutfaklarda yağ kaynaklı yangın risklerinin işletme prosedürleri, personel eğitimi ve bakım dokümantasyonu tarafında parçalı düzenlendiğini göstermektedir. Yönetmelikler arasında teknik terminoloji ve uygulama seviyesinde farklılıklar bulunması, proje, işletme ve denetim süreçlerinde yorum farklılıklarına yol açabilmektedir. Sonuç olarak, mutfak yangınlarına özgü risk matrisi, performans göstergeleri ve doğrulama adımlarını birleştiren bütünleşik bir uygulama rehberinin, mevzuatın etkinliğini artıracağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mutfak yangınları, yangın mevzuatı, binaların yangından korunması hakkında yönetmelik, ticari mutfak, periyodik kontrol

COMPARATIVE ANALYSIS OF REGULATIONS RELATED TO KITCHEN FIRES

ABSTRACT

This study comparatively examines the principal regulations in Türkiye that directly or indirectly influence kitchen fires. The focus of the study is the Regulation on Fire Protection of Buildings, the Regulation on Health and Safety Measures in Workplace Buildings and Annexes, and the Regulation on Health and Safety Conditions in the Use of Work Equipment. The comparison is conducted across the dimensions of scope, set of definitions, preventive measures approach, obligations related to detection and extinguishing systems, maintenance and periodic inspection requirements, and supervisory responsibilities. The findings indicate that fire safety is strongly defined at the building scale; however, the risks of grease-related fires in commercial kitchens are regulated in a fragmented manner in terms of operational procedures, personnel training, and maintenance documentation. Differences in technical terminology and levels of implementation among the regulations may lead to interpretative discrepancies in design, operation, and inspection processes. In conclusion, it is suggested that an integrated implementation guideline—combining a risk matrix specific to kitchen fires with performance indicators and verification steps—would enhance the effectiveness of the regulatory framework.

Keywords: Kitchen fires, fire regulations, Regulation on Fire Protection of Buildings, commercial kitchens, periodic inspection

1. GİRİŞ

Mutfaklar; açık alev, sıcak yüzey, elektrikli pişirme ekipmanı, gaz yakıt, kızgın yağ ve yağ yüklü egzoz akışının aynı hacimde bulunması nedeniyle birbirini tetikleyebilen tehlikeler içerir. Yağ buharının davlumbaz, filtre ve kanal yüzeylerinde birikmesi, yangının pişirme cihazından egzoz sistemine ve diğer bina bölümlerine taşınmasına elverişli bir yol oluşturur. Kızgın pişirme yağları Avrupa sınıflandırmasında F sınıfı yangın olarak ele alınır; suyla uygunsuz müdahale, ani buharlaşma ve yağın saçılması nedeniyle yangını büyütebilir [8, 7].

Türkiye'de bu risk tek bir "mutfak yangını yönetmeliği" ile değil, yapı güvenliği ve iş sağlığı ve güvenliği alanlarındaki tamamlayıcı düzenlemelerle yönetilmektedir. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) tasarım, yapım, kullanım, bakım ve işletme boyunca bina ölçeğindeki yangın tedbirlerini belirler [1]. İşyeri Bina ve Eklentileri Yönetmeliği (İBEY), çalışanların bulunduğu işyeri hacimlerinde asgari koşulları ve işverenin genel sorumluluğunu düzenler [3]. İş Ekipmanları Yönetmeliği (İEKY) ise iş ekipmanının güvenli seçimi, kullanımı, bakımı ve periyodik kontrolü için teknik ve belgesel bir çerçeve kurar [4].

Bu çalışmanın amacı, söz konusu üç düzenlemenin mutfak yangınları bakımından nasıl bir yükümlülük zinciri oluşturduğunu belirlemek, örtüşen ve ayrışan hükümleri karşılaştırmak ve uygulamada doğrulanabilir bir ortak kontrol yaklaşımı önermektir. Araştırma sorusu şöyledir: Tasarım, işletme, bakım ve denetim evrelerinde mutfak yangını riskini yöneten hükümler hangi noktalarda birbirini tamamlamakta, hangi noktalarda uygulama rehberine ihtiyaç bırakmaktadır?

1.1. YÖNTEM

Araştırma, normatif iddiaların mevzuat metinleri üzerinden çözümlendiği nitel ve karşılaştırmalı bir doküman incelemesidir. İnceleme birimi; 30 Temmuz 2026 itibarıyla erişilen konsolide düzenleme hükümleri, ekler ve ilgili değişiklik metinleridir. BYKHY'nin 1 Temmuz 2025 tarihli değişikliği ile İEKY'nin 23 Aralık 2025 tarihli değişikliği güncellik kontrolüne dâhil edilmiştir [2, 5].

Metinler altı ölçütle kodlanmıştır: (i) kapsam ve yükümlü aktör, (ii) tanım ve risk yaklaşımı, (iii) önleyici tedbirler, (iv) algılama, uyarı ve söndürme, (v) bakım, periyodik kontrol ve kayıt, (vi) denetim ve sorumluluk. Her hüküm "doğrudan", "dolaylı/tamamlayıcı" veya "açık hüküm yok" biçiminde sınıflandırılmıştır. Karşılaştırma hukuki uygunluk denetimi niteliğinde olmayıp teknik uygulamayı destekleyen analitik bir çerçevedir. Standartlar, mevzuatın atıf yaptığı veya uygulamadaki boşluğu açıklayan teknik kaynaklar olarak değerlendirilmiştir; bağlayıcılıkları somut projedeki mevzuat, şartname ve sözleşme ilişkisine göre ayrıca belirlenmelidir.

2. MUTFAK YANGINI RİSKİNİN TEKNİK ÇERÇEVESİ

2.1. Başlıca tehlike kaynakları

Ticari mutfaklarda yangın senaryosu yalnızca ocak veya fritözle sınırlı değildir. Pişirme yağının aşırı ısınması, alevin davlumbaza sıçraması, filtre ve kanaldaki yağ tortusunun tutuşması, gaz kaçağı, elektriksel arıza ve sıcak çalışma eş zamanlı veya ardışık gelişebilir. Bu nedenle güvenlik; tutuşmanın önlenmesi, yakıtın kesilmesi, yangının erken algılanması, uygun söndürme maddesinin doğru bölgeye boşaltılması, egzoz hattındaki yayılımın sınırlandırılması ve güvenli tahliyeden oluşan bir savunma katmanları sistemi olarak ele alınmalıdır.

2.2. İşlevsel doğrulama ihtiyacı

Bir sistemin fiziksel olarak mevcut olması, yangın senaryosunda beklenen işlevi yerine getireceğini tek başına göstermez. Davlumbaz söndürme sisteminin devreye girmesiyle enerji ve yakıt beslemesinin güvenli duruma geçmesi; alarmın ilgili kişilere iletilmesi; korunan cihaz, plenum, filtre ve kanal girişlerinin projeyle uyumlu olması; elle boşaltma düzeninin erişilebilir kalması gerekir. Bu ilişkilerin kabul testi ve periyodik kontrollerde senaryo temelli doğrulanması, parçalı kontrollerin bıraktığı arayüz riskini azaltır.

3. DÜZENLEMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1. Kapsam, yaklaşım ve sorumlular

Tablo 1: Düzenlemelerin kapsam ve yaklaşım bakımından karşılaştırılması

Ölçüt	BYKHY	İBEY	İEKY
Temel ölçek	Yapı, bina, tesis ve işletmenin yaşam döngüsü	İşyeri bina ve eklentilerindeki asgari sağlık ve güvenlik koşulları	İş ekipmanı ve tesisatın güvenli kullanımı
Birincil yaklaşım	Yangının önlenmesi, yayılımın sınırlandırılması, tahliye ve müdahale	İşverenin riskleri önleme ve çalışanı koruma yükümlülüğü	Uygun ekipman seçimi, bakım, kontrol ve yetkinlik
Mutfakla ilişki	Mutfak, davlumbaz, gaz algılama, havalandırma ve söndürmeye ilişkin doğru-dan hükümler	Yangın ekipmanı, alarm, kaçış ve bakım yönünden tamamlayıcı hükümler	Pişirme/yardımcı ekipman ile yangın ve havalandırma tesisatının kontrolü yönünden tamamlayıcı hükümler
Başlıca sorumlular	Yapı sahibi, işveren, işleticiler, bina yöneticileri, proje ve uygulama tarafları	İşveren	İşveren ve yetkili periyodik kontrol kişileri
Kanıt türü	Proje, uygunluk, test, bakım ve işletme kayıtları	Risk değerlendirmesi, acil durum ve bakım/kontrol kayıtları	Periyodik kontrol raporu, proje, bakım ve kullanım kayıtları

BYKHY, her türlü yapı ve işletmede yangın güvenliğini bina yaşam döngüsü boyunca ele aldığı için karşılaştırmanın teknik omurgasını oluşturur. İBEY, belirli bir söndürme teknolojisi tarif etmekten çok, işyerinin büyüklüğü, kullanım biçimi, bulunan ekipman ve maddeler ile çalışan sayısını dikkate alan yeterli yangınla mücadele donanımı ve gerektiğinde algılama ve alarm düzeni kurulmasını ister. İEKY ise ekipmanın yapılan işe uygunluğunu, ek tehlike oluşturmamasını, bakımını ve yetkili kişilerce kontrolünü işveren yükümlülüğü hâline getirir. Böylece aynı ticari mutfakta bina sahibi veya yönetici, işveren, işletmeci ve teknik kontrol taraflarının sorumlulukları kesişebilir; ancak birbirinin yerine geçmez.

3.2. Önleyici tedbirler, algılama ve söndürme

BYKHY'nin mutfaklara ilişkin hükümleri, bodrumda bulunan ve gaz kullanılan mutfaklarda havalandırma yapılması ile belirli kullanım ve kapasite koşullarında davlumbazlara otomatik söndürme sistemi ve kullanılan gazın özelliğine uygun algılama tesisatı kurulmasını öngörür. Özellikle alışveriş merkezleri ve yüksek binalardaki mutfaklar ile aynı anda 100'den fazla kişiye hizmet veren mutfaklar bakımından bu yükümlülük açık bir eşik tanımlar [1].

Bu eşik, kapsam içindeki mutfaklarda asgari yükümlülüğü belirler; eşik dışında kalan bir mutfağın risksiz olduğu anlamına gelmez. İşveren, risk değerlendirmesinde yağ hacmi, pişirme sıcaklığı, cihaz gücü, çalışma süresi, egzoz kanalının geometrisi, kullanıcı yoğunluğu ve müdahale süresini dikkate almalıdır. İBEY'nin risk ve yeterlilik temelli genel hükümleri ile İEKY'nin uygun ekipman seçimi yükümlülüğü, BYKHY'deki sayısal ve kullanım temelli eşikleri işletme koşulları bakımından tamamlar.

F sınıfı yangınlarda taşınabilir söndürücü seçiminin yangın sınıfına uygun yapılması; çalışanların suyla müdahalenin tehlikesini bilmesi; söndürme battaniyesi, uygun taşınabilir söndürücü ve sabit sistemin birbirini engellemeyecek biçimde işletme prosedürüne bağlanması gerekir. Bununla birlikte incelenen üç düzenleme, F sınıfı yangına özgü çalışan yeterliliği, eğitim içeriği veya uygulamalı tatbikat başarısı için ayrıntılı performans ölçütü tanımlamamaktadır.

3.3. Bakım, periyodik kontrol ve kayıt

BYKHY yangın güvenlik sistemlerinin çalışır durumda tutulmasına, kontrolüne ve bakımına ilişkin bina ölçeğinde sorumluluk kurar. İBEY, yangınla mücadele ekipmanının kolay erişilebilir olmasını, işaretlenmesini ve düzenli bakım ve kontrolünü işverenin genel güvenlik yönetimine bağlar. İEKY ise bakım ile periyodik kontrolü ayırır; bakımı ilgili standart veya imalatçı talimatına göre yürütürken, EK-III kapsamındaki tesisatların yetkili kişilerce kontrolünü ve raporlanmasını düzenler.

İEKY'nin güncel yaklaşımında yangın mekanik tesisatı ile yangın algılama ve uyarı sistemlerinin periyodik kontrolünde tesisat projesi aranır. Projesi bulunmayan tesisatın BYKHY ve ilgili standartlara uygun biçimde projelendirilmesi işverene yüklenir; kontrol sırasında tesisatın projeye, BYKHY'ye ve ilgili standartlara uygunluğu değerlendirilir [4]. Standartlarda farklı bir süre öngörülmemişse ilgili yangın tesisatlarında azami periyot bir yıldır. Bu düzenleme, proje ile sahadaki tesisat arasında izlenebilir bir doğrulama zinciri kurması bakımından önemlidir.

Davlumbaz, filtre ve egzoz kanalındaki yağ birikiminin temizlenmesi ise hem yangını önleyici işletme bakımı hem de havalandırma performansı açısından kritiktir. İncelenen düzenlemelerde her mutfak türü için tek bir temizlik periyodu verilmemesi, sabit takvim yerine risk ve kullanım yoğunluğuna dayalı bir programı gerekli kılar. Program; gözlem veya ölçüm ölçütünü, kabul sınırını, temizlenen bölgeyi, tarih ve sorumluyu, fotoğraf veya servis kanıtını ve uygunsuzluk kapatma kaydını içermelidir.

3.4. Denetim ve sorumluluk zinciri

BYKHY'nin uygulanması yapı ruhsatı, kullanım, işletme ve yerel denetim süreçleriyle; iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri ise işverenin riskleri yönetme ve denetime kanıt sunma yükümlülüğüyle ilişkilidir. Uygulamada itfaiye uygunluk değerlendirmesi, iş müfettişi denetimi, periyodik kontrol ve bakım hizmeti farklı kapsamlarla yürütülebilir. Bu işlemlerden birinin olumlu sonucu diğer bütün yükümlülüklerin kendiliğinden karşılandığını göstermez. Etkili denetim için proje, risk değerlendirmesi, bakım formu, periyodik kontrol raporu, eğitim kaydı ve uygunsuzluk kapatma belgesinin aynı tesis kimliği altında ilişkilendirilmesi gerekir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karşılaştırma beş temel bulgu ortaya koymuştur. Birincisi, BYKHY mutfak yangınına en doğrudan teknik hükümleri içermekle birlikte yükümlülükleri bina türü ve hizmet kapasitesi gibi eşiklerle tanımlar.

Tablo 2: Mutfak yangını bakımından birleşik uyum matrisi

Kontrol alanı	Dayanak ağırlığı	Asgari kanıt	Önerilen doğrulama
Mutfak yerleşimi ve yangın bölümlendirmesi	BYKHY	Onaylı mimari/mekanik proje	Yerinde proje uygunluk kontrolü
Davlumbaz otomatik söndürme	BYKHY + İEKY	Proje, devreye alma ve periyodik kontrol raporu	Cihaz–plenum–kanal koruması ve elle/otomatik tetikleme senaryosu
Gaz algılama ve yakıt kesme	BYKHY + İEKY	Algılama projesi, test ve bakım kaydı	Dedektör alarmı ile vananın güvenli konuma geçiş testi
Yangın algılama ve alarm	Üç düzenleme	Proje, fonksiyon testi, periyodik kontrol	Alarm iletimi ve arayüzlerin neden–sonuç testi
Egzoz ve yağ temizliği	BYKHY + İBEY + İEKY	Temizlik planı ve servis/ işletme kaydı	Risk esaslı sıklık, erişilebilir kanal kont-rol noktaları
Taşınabilir söndürücüler	BYKHY + İBEY	Yerleşim ve bakım kaydı	F sınıfına uygunluk, erişim ve çalışan uygulaması
Eğitim ve acil durum	İBEY ve genel İSG hükümleri	Eğitim ve tatbikat kayıtları	Kızgın yağa suyla müdahale etmeme ve güvenli enerji kesme uygulaması

İkincisi, İBEY teknoloji tarifinden çok riskle orantılı yeterlilik ve işveren sorumluluğu üzerinden çalışır. Üçüncüsü, İEKY proje, yetkili kontrol ve raporlama şartlarıyla tasarım hükümlerinin işletme döneminde doğrulanmasını güçlendirir. Dördüncüsü, üç düzenlemenin birlikte okunması teknik sistemin varlığından işlevselliğine uzanan bir zincir kurar. Beşincisi, zincirin özellikle yağ yönetimi, temizlik periyodu, çalışan yeterliliği ve sistem arayüzlerinin bütünleşik testi noktalarında uygulama ölçütlerine ihtiyacı vardır.

Bu sonuç, düzenlemeler arasında hukuki bir çelişkiden çok düzenleme ölçeklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Bina mevzuatı tasarım ve korunma seviyesini, işyeri mevzuatı çalışan güvenliğini, ekipman mevzuatı ise teknik bütünlük ve kayıtlanabilir kontrolü öne çıkarır. Sorun, farklı aktörlerin yalnızca kendi metinlerini uygulayıp arayüzleri sahipsiz bırakması hâlinde ortaya çıkar. Örneğin söndürme siste-mi periyodik kontrolden geçmiş olsa bile egzoz kanalının temizlenmemesi veya gaz kesme arayüzünün denenmemesi artık riski yüksek bırakabilir.

Uluslararası teknik kaynaklarda ticari pişirme faaliyetleri için egzoz temizliği, ıslak kimyasal söndürme sistemleri ve pişirme cihazı testleri daha ayrıntılı performans ölçütleriyle ele alınmaktadır [9, 10, 11]. Bu belgeler Türkiye'de kendiliğinden mevzuat yerine geçmez; ancak ulusal hükümlerin izin verdiği çerçevede proje şartnamesi, risk değerlendirmesi ve kabul kriterlerinin geliştirilmesine teknik girdi sağlayabilir. Ulusal uygulama rehberinin terminolojiyi TS EN 2'deki F sınıfı ile uyumlu kurması ve yabancı sınıflandırmaları doğrudan aktarmak yerine eşdeğerlik ilişkisini açıklaması gerekir.

Çalışmanın sınırlılığı, doküman incelemesine dayanması ve saha denetimi, yangın olayı veri seti veya uygulayıcı görüşmesi içermemesidir. Bu nedenle belirlenen boşluklar mevzuat hükümlerinin bulunmadığı veya yetersiz olduğu yönünde kesin bir etki ölçümü değil, uygulama ve doğrulama ayrıntısının dağınık olduğuna ilişkin analitik bulgulardır. Gelecek çalışmalarda farklı mutfak türlerinde dosya incelemesi ve fonksiyon testleri yapılarak uyum matrisinin ölçüt geçerliliği sınanabilir.

5. ÖNERİLEN BÜTÜNLEŞİK UYGULAMA ÇERÇEVESİ

Mutfak yangınına özgü rehber, aşağıdaki beş aşamayı ortak bir kayıt sistemi içinde birleştirmelidir:

1. **Sınıflandırma:** Bina kullanımı, mutfak kapasitesi, yakıt türü, pişirme ekipmanı, yağ hacmi, çalışma süresi ve egzoz güzergâhı kaydedilmelidir.

2. **Risk matrisi:** Tutuşma olasılığı ile sonuç şiddeti yanında yangının kanala ve komşu bölümlere yayılma potansiyeli değerlendirilmelidir.
3. **Koruma katmanları:** Pasif koruma, havalandırma, yakıt kesme, algılama, alarm, sabit ve taşınabilir söndürme ile tahliye tedbirleri tek neden–sonuç çizelgesinde gösterilmelidir.
4. **Doğrulama:** Proje kontrolü, kabul testi, günlük kullanıcı kontrolü, planlı bakım ve yetkili periyodik kontrol birbirinden ayrılmalı; her işlem için başarı ölçütü tanımlanmalıdır.
5. İyileştirme: Arıza, yanlış alarm, yağ birikimi, küçük yangın ve ramak kala olayları kayıt altına alınarak temizlik, eğitim ve bakım sıklıkları gözden geçirilmelidir.

Performans göstergeleri yalnızca "bakım yapıldı" türü ikili kayıtlarla sınırlı tutulmamalıdır. Süresi geçen bakım oranı, kapatılmamış kritik uygunsuzluk sayısı, başarılı arayüz testi oranı, eğitimli çalışan oranı, kanal temizliği kabul ölçütünü aşan nokta sayısı ve düzeltici faaliyetin ortalama kapanma süresi izlenebilir. Bu göstergeler, düzenlemelerdeki genel sorumlulukları işletme düzeyinde ölçülebilir hâle getirir.

6. SONUÇ

Türkiye'de mutfak yangınlarının yönetimi, bina yangın güvenliği ile iş sağlığı ve güvenliği düzenlemelerinin birlikte uygulanmasını gerektirir. BYKHY, belirli mutfaklarda davlumbaz otomatik söndürme ve gaz algılama dâhil temel teknik koruma seviyesini tanımlar. İBEY, riskle orantılı yangın ekipmanı, alarm, erişim, bakım ve çalışan güvenliği sorumluluğunu işverene yükler. İEKY ise ekipman uygunluğu, proje, bakım, yetkili periyodik kontrol ve raporlama yoluyla bu sistemlerin işletme dönemindeki doğrulanabilirliğini güçlendirir.

Mevcut çerçevenin başlıca geliştirme alanı, yağ kaynaklı risklerin ve sistem arayüzlerinin tek bir uygulama döngüsünde yönetilmesidir. Risk esaslı davlumbaz ve kanal temizliği, F sınıfı yangına özgü çalışan yeterliliği, yakıt kesme–havalandırma–alarm–söndürme arayüzlerinin senaryo testi ve ortak dokümantasyon asgari rehber başlıkları olmalıdır. Önerilen uyum matrisi, yeni bir hukuki yükümlülük üretmek yerine mevcut yükümlülüklerin proje, işletme ve denetim aşamalarında izlenebilir biçimde birleştirilmesini amaçlamaktadır.

7. KAYNAKLAR

[1] T.C. CUMHURBAŞKANLIĞI, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", Resmî Gazete, Sayı 26735, 19 Aralık 2007 (değişiklikleriyle).

[2] T.C. CUMHURBAŞKANLIĞI, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", Resmî Gazete, Sayı 32943, 1 Temmuz 2025.

[3] T.C. ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI, "İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik", Resmî Gazete, Sayı 28710, 17 Temmuz 2013.

[4] T.C. ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI, "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği", Resmî Gazete, Sayı 28628, 25 Nisan 2013 (değişiklikleriyle).

[5] T.C. ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI, "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", Resmî Gazete, Sayı 33116, 23 Aralık 2025.

[6] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu", Ankara, 2025.

[7] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, “TS EN 2 Yangınların Sınıflandırılması”, Ankara.

[8] YILDIZ, Z., “Konutlardaki Mutfak Yangınları Üzerine Bir Değerlendirme”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 21, ss. 621–628, 2021. DOI: 10.31590/ejosat.788253.

[9] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, “NFPA 96: Standard for Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations”, Quincy, MA.

[10] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, “NFPA 17A: Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems”, Quincy, MA.

[11] UL STANDARDS & ENGAGEMENT, “UL 300: Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Commercial Cooking Equipment”, Northbrook, IL.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

İrfan ARGUZ

1982 Kahramanmaraş doğumlu.2006 yılında Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulundan, 2018 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Rekreasyon Yönetimi Anabilim dalından mezun oldu. Meram Meslek Yüksekokulunda Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölüm Başkanı ve Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.

Aliye AYAN

1988 Konya doğumlu. 2011 yılında Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Halkla İlişkiler bölümünden, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Halkla İlişkiler Anabilim dalından mezun oldu. Halen Meram Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

NFPA 96 KAPSAMINDA TİCARİ MUTFAK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE YANGIN GÜVENLİĞİ GEREKLİLİKLERİ

İbrahim KARAKAŞ

ÖZET

Ticari mutfaklarda kullanılan havalandırma sistemleri, pişirme işlemleri sırasında oluşan yağ yüklü buharların, dumanın, kokunun ve yanma ürünlerinin güvenli şekilde uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır. NFPA 96 standardı, bu sistemlerin tasarımı, kurulumu, işletimi, denetimi ve bakımına ilişkin asgari yangın güvenliği gerekliliklerini tanımlamaktadır. Bu çalışmada NFPA 96 kapsamında mutfak havalandırma sistemlerinin temel bileşenleri incelenmiş; davlumbazlar, yağ filtreleri, egzoz kanalları, yangın söndürme ekipmanları, talep kontrollü mutfak havalandırma sistemleri ve ekoloji üniteleri değerlendirilmiştir. Ayrıca sistem performansında davlumbaz tasarımının önemi, kanal sistemleri için belirlenen yapısal gereklilikler ve bakım uygulamalarının yangın güvenliği üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: NFPA 96, ticari mutfak havalandırması, davlumbaz, egzoz kanalı, ekoloji ünitesi, yangın güvenliği, ESP filtre.

FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR COMMERCIAL KITCHEN VENTILATION SYSTEMS WITHIN THE SCOPE OF NFPA 96

ABSTRACT

Ventilation systems used in commercial kitchens are intended to safely remove the grease-laden vapors, smoke, odors and combustion products generated during cooking operations. The NFPA 96 standard defines the minimum fire-safety requirements relating to the design, installation, operation, inspection and maintenance of these systems. In this study, the fundamental components of commercial kitchen ventilation systems are examined within the scope of NFPA 96; exhaust hoods, grease removal devices, exhaust ducts, fire-suppression equipment, demand-controlled kitchen ventilation systems and pollution control (ecology) units are evaluated. In addition, the importance of hood design for system performance, the structural requirements specified for duct systems, and the effects of maintenance practices on fire safety are addressed.

Key words: NFPA 96, commercial kitchen ventilation, exhaust hood, exhaust duct, pollution control unit, fire safety, ESP filter.

1. GİRİŞ

Bu makalenin amacı, tasarım mühendislerine, gıda hizmeti danışmanlarına, devreye alma sağlayıcılarına, mimarlara, işverenlere ve tesis yöneticilerine, işveren gereksinimlerini karşılayan bir mutfak havalandırma sistemi tasarlamak için en son araştırmaları, teknoloji bilgilerini ve kaynakları sağlamaktır. Ayrıca bu uygulamaların ve önerilerin ardındaki gerekçeyi de sunmaktadır. Bu makale, herhangi bir yerel yetki alanının gerekliliklerini geçersiz kılmayı amaçlamamaktadır.

Bu makale, temel olarak NFPA 96 Standardını ve standardın referans olarak gösterdiği diğer standartları ele almaktadır. NFPA 96 standardı, pişirme operasyonlarının tasarımı, kurulumu, işletimi, denetimi ve bakımına ilişkin asgari yangın güvenliği gerekliliklerini belirlemektedir. Standart, gerekli görülen durumlarda geriye dönük olarak da uygulanabilmektedir (NFPA 1.4.2).

Standartta belirtilen gerekliliklerin yerine eşdeğer veya daha üstün kalite, dayanıklılık, yangın dayanımı, etkinlik ve güvenlik sağlayan sistemlerin kullanılmasına izin verilmekte, ancak bu eşdeğerliğin teknik dokümantasyon ile kanıtlanması ve yetkili makam tarafından onaylanması gerekmektedir (NFPA 1.5).

2. MUTFAK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN YAPISI

NFPA 96 kapsamında mutfak egzoz sistemi davlumbazda başlamakta ve egzozun atmosfere atıldığı noktada sona ermektedir. Bu nedenle davlumbaz, kanal sistemi, filtreler, fanlar ve diğer ekipmanlar birbirinden bağımsız değil, bütünleşik bir sistem olarak değerlendirilmektedir.

Davlumbaz seçiminin ve tasarımının hatalı olması durumunda sistemin geri kalan bileşenlerinin performansı da olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle davlumbaz ile atış noktası arasındaki tüm ekipmanların ilgili standartlara uygun olması gerekmektedir.

Sürdürülebilir bir yemek servisi işletmesinin temeli, doğru şekilde tasarlanmış bir ticari mutfak havalandırma (TMH) sistemidir. Mutfaktaki kirlilik kontrol üniteleri, Tip I/Tip II davlumbazlar, yangın koruma sistemi ve destekleyici besleme hava sistemleri, tesisin konforunu ve yangın güvenliğini sağlar. Ayrıca enerji tüketiminin yaklaşık %30'unu bu sistem belirler.

Mutfaktaki davlumbazlar, bu sistemin kalbidir ve başarılı bir şekilde belirlenmeleri, tüm TMH sisteminin altyapısını ve boyutunu etkiler.

3.MUTFAK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN ELEMANLARI

NFPA 96 kapsamında mutfak havalandırma sistemleri; davlumbazlar, yağ filtreleri, yangın söndürme sistemleri, egzoz kanalları, kirlilik kontrol üniteleri ile damperler ve talep kontrollü havalandırma sistemlerinden oluşan tüm bileşenleri içermektedir. Bu bölümde söz konusu elemanlar ayrı ayrı ele alınmaktadır.

3.1. Davlumbazlar

Ticari mutfak davlumbazlarının tasarım süreci, altlarına yerleştirilen pişirme ekipmanlarıyla başlar. Emisyon türüne (yağ veya buhar) ve bu emisyonların yoğunluğuna bağlı olarak, her bir pişirme ekipmanı tanımlanır. Bu tanımlamalar, davlumbazların türü, yardımcı elemanları ve egzoz havası miktarlarının belirlenmesi için temel oluşturur.

Davlumbazlar temel olarak iki sınıfa ayrılmaktadır:

- Tip-I Filtreli Pişirme Davlumbazları
- Tip-II Filtresiz (Yoğuşmalı) Davlumbazlar

3.1.1. Tip I Davlumbazlar

Yağ, ticari mutfak egzoz sistemine yayıldığında yüksek potansiyel enerji içeriği nedeniyle yangın riski oluşturmaktadır. NFPA 96, yağı "yemek pişirme ve/veya hazırlama amacıyla kullanılan ve bunlardan kaynaklanan işlenmiş hayvansal yağ, bitkisel katı yağ ve diğer benzeri yağlı maddeler" olarak tanımlar (2021b, 96-10). Yağ, ASHRAE Araştırma Projesi (RP) 745'te (Gerstler vd. 1998) daha spesifik olarak tanımlanmıştır. Pişirme cihazlarından çıkan yağ miktarı UL 710B (2011a) gerekliliklerine göre test edildiğinde 500 cfm'de $3{,}1 \times 10^{-7}$ lb/ft3 (236 L/s'de 5,0 mg/m3) veya üstündeyse Tip I davlumbaz kullanmak zorunludur.

Tip I davlumbazlarda çıkıntılara, montaj yüksekliklerine ve ekipman kullanımına bağlı hava akışlarına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda Tip I davlumbazlarda onaylı yağ filtreleri, ekipman yüzeylerini, kanalları, plenumları, yangına dayanıklı alt akış kanallarını kapsayan onaylı yangın söndürme sistemleri ve yanıcı maddelere güvenli mesafeler NFPA 96'da kalın çizgilerle vurgulanmıştır.

Tip I davlumbazlar, yangına dayanıklı veya onaylı Tip I havalandırma kanalları, onaylı davlumbaz aydınlatma sistemleri, onaylı ticari mutfak egzoz fanları, onaylı ticari mutfak talep kontrol sistemleri ve yerel olarak gerekli olduğu durumlarda, onaylı filtreler, elektrostatik filtreler, yıkayıcılar ve daha fazlasına dayalı onaylı ticari mutfak kirlilik kontrol üniteleri (Ekoloji Üniteleri) ile desteklenir.

Tip I davlumbazlar, her biri ayrı performans, güvenlik ve bazı durumlarda hijyen derecelendirmeleriyle ilişkilendirilen çeşitli ayrı özelliklere sahiptir. Tipik olarak bir davlumbaz, eğimli bir plenum ve yağ filtreleri, yağ toplama kabı, isteğe bağlı kontrol damperleri ve davlumbaz lambaları gibi aksesuarlarla birlikte bir egzoz yakası içerirler.

Tip I davlumbazları tavandan asmak için montaj noktaları ve mutfak içindeki yanıcı veya sınırlı yanıcı yüzeylere monte edilmesine olanak sağlamak için çevresinde yalıtımlı hava boşlukları içermelidir. Genellikle, **Tip I davlumbazlar 0,91-4,88 m (3-16 ft)** arasında değişen bölümler halinde inşa edilir. Daha uzun davlumbazlar, egzoz havasını davlumbazdan ve alandan dışarı çekmek için birden fazla kanal yakası (yağ kanalı bağlantıları) ile daha büyük bir davlumbaz sistemi oluşturmak üzere genellikle birden fazla davlumbazı uç uca sıralar.

NFPA 96 mutfaklarda kullanımına izin verilen Tip I davlumbazları listelenmiş veya listelenmemiş olarak ikiye ayırır.

- **Listelenmiş davlumbazlar.** NFPA 96 (2021b) UL tarafından onaylı davlumbazları listelenmiş olarak kabul eder. Genel olarak UL 710, UV sistemlerinin uygulandığı davlumbazlarda UL 710C havalandırmasız veya resirkülasyon olarak bilinen davlumbazlarda UL 710B onayı gerekmektedir.

  NFPA 96'da Listelenen Tip I davlumbaz sistemlerinin kullanılması şiddetle tavsiye edilir. UL sertifikası ürünlerin mekanik ve elektrik tüm güvenlik şartları konusunda testlerdeb geçtiğini doğrular.

- **Listelenmemiş davlumbazlar.** NFPA 96 (2021b) kapsamında Tip I davlumbaz kullanımında ikinci yol, listelenmemiş bir davlumbaz kullanmaktır. NFPA 96 bunun için katı şartlar belirlemiştir. Listelenmemiş bir davlumbaz, davlumbazın alt, en dış çevresine sürekli kaynaklı, yağ geçirmez ve su geçirmez olacak şekilde en az 18 MSG, 0,048 inç (1,22 mm) çelik veya en az 20 MSG, 0,036 inç (0,91 mm) paslanmaz çelik olmalıdır. Bu tür davlumbazlar, listelenmiş yağ filtreleri ve listelenmiş davlumbaz aydınlatma armatürleri kullanmak zorundadır. Yangın veya denge damperlerinin uygulanmasına izin vermez. Hafif ve ağır hizmet tipi pişirme cihazları için ekipmanın pişirme yüzeyinin davlumbaz filtre açıklığının en alt noktasına olan mesafesi 18 inçten (457 mm) az olmamalı ve ısı kaynağının tamamı veya bir kısmı için katı yakıt kullanan pişirme ekipmanlarını kaplarken 4 ft'ten (1,22 m) az olmamalıdır. Listelenmiş yangın korumasına sahip olmaları ve yağ yüklü buharların yakalanması ve uzaklaştırılması için boyutlandırılıp yapılandırılmaları gerekmektedir.

3.1.1.1. Yerinde Temizleme (Suyla Yıkama) ve Sürekli Çalışan Sisleme Sistemleri

Bazı üreticiler, Tip I davlumbazlar için isteğe bağlı yerinde temizleme veya sürekli çalışan sisleme seçenekleri sunmaktadır. Yerinde temizleme davlumbazları, genellikle davlumbazın içinde bulunan nozullar aracılığıyla sıcak su ve deterjan püskürterek günün pişirme işlemlerinden biriken yağı temizler. Bu tür ekipmanlar, bulaşık makinesi yağ filtrelerinin bakım ihtiyacını ve davlumbazlardaki yağ filtrelerinin çıkarılması ve değiştirilmesiyle ilgili işçilik maliyetini azaltabilir veya ortadan kaldırabilir. Bu tasarruflar, yerinde temizleme işlemini desteklemek için gereken ek sıcak su, deterjan ve kanalizasyon altyapısı maliyetiyle elde edilir. Daha büyük su ısıtıcıları ve yıkama kontrol kabinleri yaygın ek gereksinimlerdir. Yerinde temizleme su tüketimi, davlumbaz tipine ve üreticiye bağlı olarak, davlumbazın doğrusal ayağı başına yaklaşık 0,5 ila 1,5 galon/dakika (davlumbazın doğrusal metresi başına 6,2 ila 19,3 litre/saniye) arasında değişir ve yıkama süreleri davlumbaz bölümü başına 3 ila 10 dakika arasında sürer. Sürekli çalışan sisleme başlıkları, odun veya kömür yakmanın ve bununla ilişkili kreozot oluşumunun, büyük miktarda kıvılcım ve kor oluşumunun risklerini azaltmak için katı yakıt üzerine entegre edilen bir diğer seçenektir. NFPA96 Bölüm 14.

Ayrıca, sisleme yöntemi kullanılarak havadaki yoğunlaşabilir buharlar uzaklaştırılabilir ve mekanik olarak filtrelenebilir.

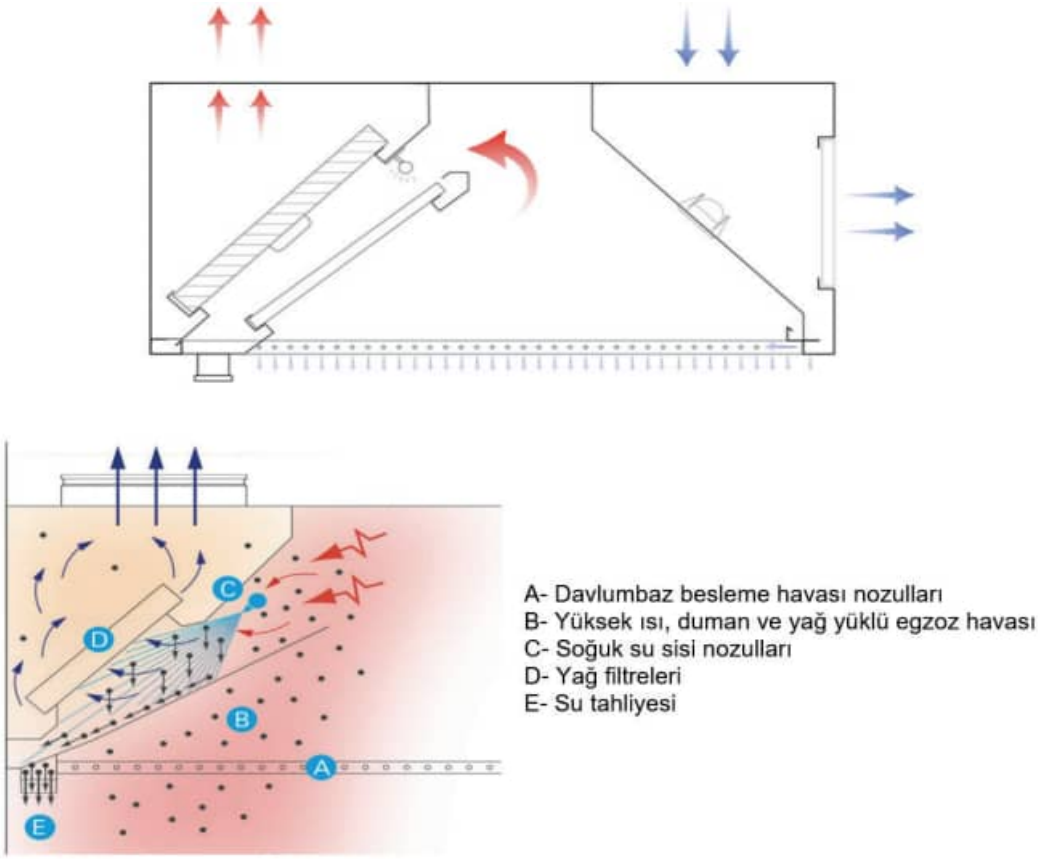
3.1.1.2. Katı Yakıtlı Pişirmeler için Su Sisli Davlumbaz Kullanılması

Katı yakıtlı pişirme, Uluslararası Mekanik Kodu tarafından "pişirme işlemleri için ısı üretmek üzere yakılan sert ağaç, meşe odunu, odun kömürü veya briket gibi herhangi bir dökme malzeme" olarak tanımlanmak-

tadır. Bu tür pişirme tipik olarak proteinleri (biftek, hamburger, balık ve tavuk gibi) pişirmek için kullanılır. Katı yakıt uygulamalarından yayılan atık türleri partikül madde (PM) ve yağ buharını içerir. Ayrıca, katı yakıtın yanması kül, köz ve duman üretir.

Katı yakıtlı pişirme kategorisi "ekstra ağır hizmet" kapsamına girer. Aynı kanal sistemi üzerinde birleştirilebilen tipik bir Tip-I davlumbazın aksine, katı yakıtlı pişirmenin kendi kanal sistemi olmalıdır. Başka herhangi bir kanal sistemi ile birleştirilemez. Egzoz davlumbazı UL 710'a uygun olması "ekstra ağır hizmet" ve 700°F (371°C) (katı yakıt) için sıcaklığa dayanıklı olarak imal edilmesi gereklidir. Minimum 1.2 mm sac kalınlığında SS304 kalite paslanmaz çelikle imal edilmelidir. Yağ yüklü buharları ve egzoz gazlarını yönlendiren ve yakalayan davlumbaz muhafazasının tüm dikişleri, ek yerleri ve girişleri, davlumbazın en alt dış çevresine sıvı geçirmez, sürekli bir dış kaynakla birleştirilmelidir. Davlumbazın dikişleri, ek yerleri ve girişleri, kaynağın yağ tutmayacak şekilde pürüzsüz bir şekilde taşlanmış olması ve temizlenebilir olması koşuluyla içten kaynak yapılabilir.

Su sisinden kaynaklı suyun ilerleyeceği ve tahliye edileceği bir su kanalı davlumbaz içinde tesis edilmelidir. Ayrıca drenaj noktasında 2" çapında tahliye çıkışı olmalıdır. 3 metreden daha uzun davlumbazlar için birden fazla drenaj noktası kullanılmalıdır.



Şekil 1. Su Sisli Davlumbaz Çalışma Prensibi

Davlumbaz, Pişirme mangalının kenarından 450-600 mm daha geniş olmalıdır. Davlumbazın ön ve yan çıkıntı oranlarına dikkat edilmelidir. Aksi durumda davlumbazdan duman kaçağı oluşur.



Şekil 2. Su Sisli Davlumbaz Su Spreyi

Su spreyi sürekli olmalıdır. İçinden geçen kıvılcım, kül ve korları ıslatarak hazneye düşürür. Atık su, davlumbazı terk ettikten sonra son noktasına ulaşana kadar kanal boyunca ilerler. Böylelikle kül, kor ve yağ partikülleri yağlı atık su hattı ile deşarj edilir.

Su sisli davlumbaz yerine kullanılan su tanklı filtreler, uygulama olarak davlumbazdan sonra kullanıldığı için davlumbaz filtrelerinde ve plenumunda çıkan muhtemel bir yangını önleme fonksiyonu yoktur. Bu sebeple kullanılması önerilmez. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin çok fazla yangına sebep olduğu bilinmektedir.

3.1.2 Tip II Davlumbazlar

Tip II davlumbazlar; ortamda yağ veya dumanın bulunmadığı, sadece buhar, ısı ve (varsa) yanma ürünlerinin toplanıp uzaklaştırılması gereken durumlarda kullanılır. Sektörde genellikle “buhar”, “yoğuşma (condensate)”, “ısı” veya “koku/duman (fume)” davlumbazları olarak da bilinirler.

Temel kullanım alanları şunlardır:

- Bulaşık Yıkama ve Buharlı İşlemler: Bulaşık yıkama alanları, buharlı pişirme ve fırınlama operasyonları Tip II davlumbazların en yaygın kullanıldığı yerlerdir.

- Yağ Üretmeyen Pişirme Ekipmanları: Duman veya yağlı buhar üretmeyen fırınlar, buharlı pişiriciler (steamer) ve kaynatma kazanları (kettle) üzerinde kullanılır.

- Görev Sınıfına Göre Ekipmanlar: ASHRAE, Tip 2 davlumbaz gerektiren cihazları da sınıflandırır. Örneğin; buharlı pişiriciler ve 20 galondan küçük kapasiteli kazanlar “Hafif Yük (Light Duty)” Tip 2 davlumbaz gerektirirken; konveyörlü (bantlı) bulaşık makineleri, gazlı makarna pişiriciler ve 20 galondan büyük kazanlar “Orta Yük (Medium Duty)” Tip 2 davlumbaz gerektirir. Hafif Yük (Light Duty) cihazlar için davlumbazın her bir metre uzunluğu başına en az 310 L/s (200 cfm/ft) hava çekilmesi yeterlidir. Orta Yük (Medium Duty) cihazlar (örneğin konveyörlü bulaşık makinesi) için ise bu değer davlumbaz metresi başına en az 465 L/s (300 cfm/ft) seviyesine çıkarılmalıdır. Ada tipi davlumbazlarda ise orta yük için bu gereksinim metresi başına 775 L/s (500 cfm/ft) seviyelerine kadar ulaşır.

- Uluslararası Mekanik Kod (IMC; ICC 2021d), duvara monte edilen bir davlumbazın, cihazın üst yüzeyinin ön ve uç kısımlarından yatay olarak en az 6 inç (152 mm) ötede boyutlandırılmasını gerektirir.

ASHRAE 154 standardı, yalnızca buhar veya konvektif ısı yayan bazı cihazların tamamen davlumbazsız olarak kullanılmasına belirli şartlar altında izin vermektedir. Bir cihazın davlumbazsız kullanılabilmesi için aşağıdaki iki temel şartı sağlaması gerekir:

1. Düşük Yağ Emisyon Sınırı: Ekipmanın (UL 710B standartlarına göre test edildiğinde), 500 cfm (236 L/s) egzoz debisinde 5,0 mg/m³ (3.1 x 10^-7 lb/ft³)'ten daha az yağ emisyonu (grease emission) ürettiğinin kanıtlanmış olması gerekir.
2. HVAC Sistemine Entegrasyon Şartı: Davlumbaz kullanılmasa dahi, bu cihazların ortama yaydığı duyulur ve gizli ısı (ısı ve nem) yüklerinin mutlaka binanın genel iklimlendirme (HVAC) sistemi tasarımında hesaba katılması ve sistemin (soğutma ve taze hava kapasitesinin) bu yükü karşılayacak şekilde tasarlanması zorunludur

3.2. Yangın Söndürme Sistemleri

Ticari pişirme ekipmanlarının doğası ve bunlarla ilişkili emisyonların uygun koşullar altında belirgin şekilde yanma potansiyeli nedeniyle, NFPA 96 (2021b), Tip I davlumbaz sistemine bir yangın söndürme sisteminin uygulanmasını gerektirir. Bu düzenekler tipik olarak, pişirme ekipmanının yüzeyine, davlumbazların plenumuna ve davlumbaz kanalının egzoz kanalına geçiş noktasına söndürücü madde sağlamak üzere davlumbazlardan geçirilen, kalıplanmış ıslak kimyasal veya su bazlı sistemlerdir. Yağ kanalının aşağı akış yönündeki kapsama alanı üreticiye göre değişir ve tipik olarak 75 ft (22,9 m)'ye kadardır; bu noktadan sonra aşağı akış kanalı için ek nozullar gerekebilir. Listelenen ticari mutfak yangın söndürmesi için geçerli standart, NFPA 17A (2021a) kapsamında yer alan ve NFPA 96 (2021b) tarafından zorunlu kılınan UL 300 (2019)'dur. Listelenen su bazlı sistemler ayrıca UL 300 (2019), UL 199 (2022a) veya UL 199E (2017a) kapsamında da mevcuttur. UL 199 ve 199E kapsamındaki üniteler, NFPA 13 (2022) kapsamındaki binanın yangın söndürme sistemine entegre edilmiştir.

Yangın söndürme sistemlerinin tasarımı, ekipman üreticisinin uygun şekilde eğitilmiş ve sertifikalı bir temsilcisi tarafından ve ürünün özelliklerine uygun olarak yapılmalıdır. Kanal ve plenum kapsamı için sistem boyutlandırması genellikle baca uzunluğu ve egzoz kanalı bağlantı parçası boyutlandırmasıyla orantılıdır, ekipman yüzey koruması ise kapsanan ekipman parçalarının türüne ve miktarına göre ölçeklenir. İki yaygın kapsama yöntemi vardır: ekipmana özel ve genel kapsama. Ekipmana özel kapsama, ekipmanın yeniden konumlandırılması, eklenmesi veya hattan çıkarılması durumunda değişiklik gerektiren bilinen bir pişirme hattına göre detaylandırılır. Genel kapsama, çoğu ekipmanı genel olarak korumayı sağlar, ancak proje için daha yüksek bir başlangıç maliyetine sahiptir. Hangi yol izlenirse izlensin, yüzey koruması ürün listeleme kılavuzlarında özel olarak detaylandırılır ve yakından takip edilmelidir. Pişirme hatları ve metodolojisi, sistemin maliyetini ve boyutlandırmasını belirler.

Çoklu davlumbazların uçtan uca veya arka arkaya monte edildiği, Tip I kanallı sistemlere sahip büyük mutfaklar için özel dikkat gösterilmelidir. Bu sistemlerin birbirleriyle sıvı bağlantısı halinde olmaları nedeniyle eş zamanlı olarak çalıştırılmaları yaygın bir durumdur ve bu durum ortak veya tek bir tehlike olarak adlandırılır. Aşağı akışta, kirlilik kontrolü, ısı geri kazanımı veya diğer yağ kanalı üzerine monte edilmiş aksesuarlar bu tek tehlikeye dahildir ve yerel olarak kabul edilen yönetmeliğe uygun olarak onaylanmalı ve tasarlanmalıdır. Kirlilik kontrolü veya diğer kanal aksesuarlarının, NFPA 96 (2021b) uyarınca gerekli olan UL 300 veya eşdeğer korumaya sahip olması gerekmektedir. Bu cihazların korumaları UL 300 (2019) veya eşdeğer bir listede özel olarak belirtilmemişse, izin ve kurulumdan önce özel dikkat ve yetkili makam onayı gereklidir.

3.3. Yağ Filtreleri

Yağ giderme cihazları (grease removal devices), UL 710 (2012) standardının temel gerekliliklerinden biridir ve NFPA 96 standardında da zorunlu bir güvenlik bileşeni olarak belirtilmektedir. Bu cihazlar, egzoz havasındaki büyük yağ partiküllerini tutarak davlumbaz plenumunu ve egzoz kanallarını yağ birikimine karşı korur. Ayrıca, pişirme ekipmanında meydana gelebilecek bir yangının egzoz kanalları boyunca ilerleyerek binanın diğer bölümlerine yayılmasını sınırlandırmaya yardımcı olurlar.

Genel amaçlı davlumbaz sistemlerinde kullanılan yağ filtreleri UL 1046 (2010) standardına göre listelenirken, UL 710 kapsamında listelenmiş bir egzoz davlumbazına entegre edilen kalıcı veya çıkarılabilir yağ giderme cihazları, davlumbazın onaylı bileşenleri olarak değerlendirilir.

Yağ filtrelerinin filtrasyon performansı ASTM F2519 (2020) ve VDI 2052 (2022) standartlarında tanımlanmış olup, performans genellikle kesirli verimlilik (fractional efficiency) değeri ile ifade edilir. VDI 2052 standardı ayrıca, filtre tarafından tutulan yağ miktarı ile hava akımıyla filtreyi geçerek taşınan yağ miktarını belirlemek amacıyla MOT (Mass of Oil Transfer) adı verilen yüke dayalı bir test yöntemini de içermektedir. Buna karşılık, UL 1046 ve UL 710 standartlarının listeleme süreçlerinde filtrasyon verimliliği değerlendirilmemekte; bu standartlar daha çok güvenlik ve yapısal performans kriterlerine odaklanmaktadır.

Yağ filtreleri, yağ partiküllerini ayırmak için ağırlıklı olarak atalet çarpması (inertial impaction) prensibiyle çalışır. Daha yüksek yağ tutma verimliliği sağlayan filtreler ise genellikle daha yüksek basınç kaybına neden olur. Bu durum, fanın daha yüksek statik basınca karşı çalışmasını gerektirerek motor gücü ve enerji tüketimini artırabilir.

Bu nedenle tasarımcılar, daha yüksek verimli filtrelerin neden olduğu fan enerji maliyeti ile Tip I egzoz kanallarında oluşacak yağ birikiminin temizlik ve bakım maliyetleri arasında dengeli bir değerlendirme yapmalıdır. Kullanılan pişirme ekipmanının türü, pişirme hacmi, hazırlanan gıda ürünleri, kanal uzunluğu, bakım erişilebilirliği ve yerel işçilik maliyetleri gibi faktörler, Tip I egzoz sisteminin bakım giderlerini ve dolayısıyla sistemin toplam sahip olma maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Farklı pişirme ekipmanları ve pişirilen ürünlerden kaynaklanan yağ partiküllerinin boyut dağılımı ve özellikleri hakkında daha ayrıntılı bilgiler, ASHRAE RP-745 (Gerstler ve ark., 1998) ile ASHRAE RP-1375 (Kuehn ve ark., 2008) araştırma raporlarında sunulmaktadır.

3.4. Davlumbaz Aydınlatması

Ticari mutfaklarda en yaygın kullanılan davlumbazlar, pişirme alanının yeterli düzeyde aydınlatılmasını sağlayan entegre aydınlatma sistemlerine sahip modellerdir. Bu aydınlatma, gıdaların güvenli bir şekilde hazırlanabilmesi ve pişirme işlemlerinin rahatlıkla izlenebilmesi açısından önemli bir gerekliliktir.

Davlumbazlarda kullanılan aydınlatma armatürleri, ticari mutfak koşullarına uygun olarak tasarlanmış ve UL 1598 (2021) standardına göre onaylanmış olmalıdır. Günümüzde davlumbaz aydınlatmalarında akkor, floresan ve LED teknolojileri kullanılabilmekle birlikte, enerji verimliliği, uzun kullanım ömrü ve düşük bakım ihtiyacı nedeniyle LED armatürler yaygın olarak tercih edilmektedir.

Aydınlatma sistemi seçilirken ilk yatırım maliyeti, enerji tüketimi ve bakım gereksinimleri birlikte değerlendirilmelidir. Özellikle büyük ticari mutfaklarda, akkor lamba veya düşük verimli aydınlatma sistemleri önemli ölçüde elektrik tüketimine ve buna bağlı olarak ilave ısı yüküne neden olabilir. Bu durum hem işletme maliyetlerini artırır hem de mutfağın soğutma yükünü olumsuz etkiler.

Pişirme yüzeyinde sağlanması gereken aydınlatma seviyesi genel olarak 50 foot-candle (yaklaşık 538 lux) olarak kabul edilmektedir. Bu değer, birçok ülkede hijyen ve çalışma güvenliği gerekliliklerini karşılayan tasarım kriteri olup, ticari mutfak aydınlatmasının planlanmasında temel alınmalıdır.

3.5. Takviye Havası ve Dengeleyici Davlumbazlar

Ticari mutfaklarda gerekli olan yüksek debili takviye (make-up) havasının sağlanmasında en yaygın kullanılan yöntemler, çevresel hava dağıtım plenumları (perimeter supply plenums) ve dengeleyici (kompanzasyonlu) davlumbazlardır (compensating hoods). Bu sistemler, takviye havasını davlumbazın yakınına kontrollü olarak vererek hem yakalama ve tutma (Capture & Containment – C&C) performansını olumsuz etkileyen hava akımlarını azaltır hem de mutfak içerisindeki hava dağılımını iyileştirir.

Çevresel hava dağıtım plenumları kullanıldığında, verilen takviye havasının yaklaşık %50›sinin doğrudan davlumbaz bölgesine, kalan %50›sinin ise mutfak ortamına verilmesi önerilmektedir. Mekâna verilen hava, mutfağın ısıtma, soğutma ve havalandırma yükü hesaplarında dikkate alınmalıdır.

Takviye havasının davlumbaz performansı üzerindeki olumsuz etkileri, öncelikle üfleme havasının debisinin ve çıkış hızının sınırlandırılmasıyla azaltılabilir. Araştırmalar, çevresel hava dağıtım plenumlarının davlumbaz kenarlarında oluşan aşağı yönlü hava hızının 75 fpm (0,38 m/s) değerini aşmadığı durumlarda en iyi performansı sağladığını göstermektedir. Bu sistemler, monte edildikleri davlumbazın çevresi boyunca sürekli olarak taze hava sağlayarak davlumbazın yakalama performansını destekler. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler için ASHRAE Handbook – HVAC Applications (2019), Bölüm 34 incelenebilir.

Dengeleyici (kompanzasyonlu) davlumbazlar ise takviye havasının belirli bir bölümünü doğrudan davlumbaz içerisine vererek mutfak hacmine verilmesi gereken taze hava miktarını azaltır. Ancak bu sistemler, UL 710 (2012) kapsamında test edilmiş ve onaylanmış konfigürasyonlara uygun şekilde uygulanmalıdır. Üretici tarafından belirlenen hava debisi, dağıtım şekli ve performans sınırlarının değiştirilmesi, davlumbazın sertifikasyonunu ve yakalama performansını olumsuz etkileyebilir.

ASHRAE Standardı 154 (2022) ve model mekanik yönetmeliklere göre, davlumbaz içerisine verilen takviye havasının içten deşarj (internal discharge) oranı egzoz debisinin %10'unu aşmamalıdır. Yapılan çalışmalar, içten deşarj oranı %10 veya daha düşük olan dengeleyici davlumbazların, gerekli egzoz hava debisinin azaltılmasına olanak sağlayabildiğini göstermektedir.

3.6. UVC Lambaları

Tip I davlumbazlar, egzoz sisteminde yağ birikimini azaltmak ve pişirme sırasında oluşan koku bileşiklerini parçalamaya yardımcı olmak amacıyla entegre ultraviyole (UVC) sistemleri ile donatılabilir. Bu sistemlerde UVC lambaları, egzoz hava akışındaki yağ aerosollerinin doğrudan ultraviyole ışınlarına maruz kalacağı şekilde yerleştirilir. Aynı zamanda lambalar tarafından üretilen ozon, egzoz kanalı içerisindeki yağ birikintileriyle reaksiyona girerek yağın parçalanmasını hızlandırmayı amaçlar.

UVC sistemleri, kullanıcıların ultraviyole ışınlarına ve ozona maruz kalmasını önlemek amacıyla güvenlik kilitleme mekanizmalarıyla donatılmalıdır. Ticari mutfak davlumbazlarında kullanılan bu sistemler UL 710C (2006) standardına göre test edilmekte ve sertifikalandırılmaktadır.

Üreticiler ile ASHRAE ve diğer kuruluşlar tarafından desteklenen saha ve laboratuvar çalışmaları, UVC teknolojisinin yağ birikimini azaltma performansına ilişkin farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Bazı çalışmalarda kanal yüzeylerinde yağ birikiminin azaldığı gösterilirken, bazı araştırmalarda etkinliğin sınırlı olduğu veya

çalışma koşullarına önemli ölçüde bağlı olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle günümüzde Tip I davlumbaz ve kanal sistemlerinde UVC teknolojisinin yağ giderme performansını tanımlayan, kamuoyu tarafından genel kabul görmüş bir performans standardı bulunmamaktadır.

UVC sistemleri, egzoz sistemindeki yağ birikimini azaltmaya yardımcı olsa da, birincil yağ filtrelerinin yerine geçmez ve Tip I davlumbazlarda zorunlu olan mekanik yağ ayırma sistemlerinin kullanılmasını ortadan kaldırmaz. Ayrıca, yağ filtrelerinden sonra egzoz kanalı içerisine ilave mekanik filtreler yerleştirilmesi NFPA 96 standardına uygun değildir.

3.7. Yağlı Egzoz Havası Kanalları

Yağlı egzoz havası kanalları dizayn ve uygulaması NFPA 96'da önemli yer tutar.

Egzoz kanalı güzergahları, atış noktasına mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Bu, daha az statik basınç ve daha az yağ birikme potansiyeli yaratır. Ayrıca, bakım ve sistem temizliği için gereken sürenin azalması nedeniyle bina sahibi için uzun vadeli işletme tasarruflarına yol açar. Tip I davlumbaz yağ tahliye kanal sistemi, binanın diğer havalandırma veya egzoz sistemleriyle birbirine bağlanmamalıdır.

Endüstriyel tasarımda yaygın olarak kullanılan yağ kanalı hızları, tasarım hava akışlarında 1500 ila 1800 fpm (7,6 ila 9,1 m/s) arasındadır (ASHRAE 2019). Ulusal mekanik kodlar, tasarım el kitapları ve standartlar minimum 500 fpm (2,5 m/s) hıza izin vermektedir. Endüstriyel tasarım hız aralıklarını önemli ölçüde aşarsa, kanal gürültüsü ve/veya aşırı statik basınç dikkate alınmalıdır ve maksimum hızlar 2500 fpm'yi (12,7 m/s) geçmemelidir (ASHRAE 2019). Birden fazla davlumbaz tek bir ortak egzoz kanalı hattına birleştirilirse, tercih edilen tasarım kanal hızı aralıklarını korumak için her bir bağlantı parçası (örneğin, bir T bağlantı parçası) ve aşağı akış kanalının boyutu artırılmalıdır. Egzoz kanalı sisteminin tasarımcısı veya sorumlu mühendisi, egzoz kanalı sistemi için geçerli olan mekanik koda tamamen hâkim olmalıdır, zira çeşitli kodların gereklilikleri arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır (örneğin, NFPA 96 [2021b] ile Uluslararası Mekanik Kod [IMC, ICC 2021d] arasında).

3.7.1. Kanal Malzemeleri

Egzoz kanalları için kullanılan iki tür malzeme vardır. Bir seçenek, UL 1978 (2010d) test standartlarına uygun olarak listelenmiş ve etiketlenmiş, fabrikada üretilmiş paslanmaz çelik yağ kanallarıdır ve listelemelerine uygun malzemeleri kullanmalarına izin verilmektedir. Listelenmiş yağ kanalı üreticileri, UL testleri ve listelemeleri nedeniyle daha ince malzemeler kullanabilirler. Bunlar yuvarlak kanal profiline sahip olabilir, ancak oval veya dikdörtgen/kare şeklinde de olabilirler.

Diğer seçenek ise, listede yer almayan minimum kod yapım yöntemleriyle kanalı sahada imal etmektir. Kod, listede yer almayan imal edilmiş kanalların kalınlığının en az 0,0575 inç (1,46 mm, no. 16 MSG) karbon çelikten veya kalınlığının en az 0,045 inç (1,14 mm, no. 18 MSG) paslanmaz çelikten yapılmasını gerektirir. Şekil profili genellikle dikdörtgen veya karedir.

3.7.2. Kanal Bağlantıları ve Kanal Testi

Genellikle iki tür kanal bağlantı yöntemi vardır. Birincisi, UL 1978 (2010d) onaylı, kaynak yapılmayan, mekanik olarak kilitlenen ve sızdırmaz hale getirilen ve fabrikada üretilen gres kanalının montaj talimatlarına uyan bağlantıdır. Diğeri ise, tüm dikişlerde, bağlantı noktalarında, geçişlerde ve kanal-davlumbaz kapağı bağlantılarında sıvı geçirmez, sürekli, dıştan kaynak gerektiren, sahada imal edilen, onaylı olmayan bir kanal bağlantısıdır.

Mekanik yönetmelik, kanal bağlantılarının montajdan sonra sızıntı açısından değerlendirilmesini gerektirir; iki değerlendirme yöntemi vardır. Bir yöntem, kanal bağlantılarına, dikişlere ve davlumbaz bağlantılarına uygulanan geleneksel 100 W'lık ampul testidir (listelenmiş kanallar için istisnalar geçerlidir). 100 W'lık ışık testi, kaynaklardaki herhangi bir delik/iğne deliği olup olmadığını belirlemek için ışığın geçip geçmediğini görmek amacıyla tüm saha kaynaklarına uygulanır. Listelenmiş kanallar için ışık testi yalnızca sahada monte edilmiş bağlantılara uygulanmalıdır. ANSI/ASHRAE Standardı 154 (2022d), sahada güvenilir bir sızıntı testi yöntemi olduğu gösterilmediği için ampul testini içermez.

ASHRAE Standard 154 (2022d) ve NFPA 96 (2021b) uyarınca önerilen diğer yöntem ise, listelenmiş veya listelenmemiş kanallarda uygunsuz bağlantı veya imalat yöntemlerindeki sızıntıları ortaya çıkaracak yüksek basınçlı püskürtme tabancası kullanılarak yapılan bir su yıkama testidir. Bu yöntem genellikle daha pratiktir, çünkü eğimin yüksek ucundan davlumbaza doğru tüm kanal sistemine uygulanabilir ve kanal sisteminin gelecekte maruz kalacağı temizleme işlemlerini taklit eder.

3.7.3. Kanal Destek Aralığı

Listelenmemiş, sahada imal edilen kanallar genellikle Sac Metal ve Klima Müteahhitleri Ulusal Birliği (SMACNA) yönergelerine (2020) uyar ve yatay kanallar için merkezden merkeze 60 inç (1525 mm) ve dikey olarak her katta destekler gerektirir. Bakım ve temizlik için personelin kanal sistemine girmesi planlanıyorsa, listelenmemiş, sahada imal edilen kanal destekleri, bir kişinin ek ağırlığını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır (NFPA 96 [2021b]; IMC [ICC 2021d].

3.7.4. Kanal İzolasyonu

Kanal İzolasyonu, UL2221 standardına uygun yapılmalı ve muhafaza edilmelidir. Yangın dayanımına uygun izolasyon malzemesi, 80 mm ve 150 kg/m³ yoğunlukta taş yünüdür. Ayrıca izolasyon üstünde muhafaza kullanmak zorunludur. İzolasyon kaplamaları, galvanizli sac veya alüminyum sac olabilir. İzolasyon ve kaplama uygulaması bina çıkışına kadar kesintisiz olmalıdır.

Yanıcı şaft içindeki tek cidarlı kanallar için 457 mm (18 inç) ve yanıcı olmayan şaft içindeki tek cidarlı kanallar için 152 mm (6 inç) açıklık gereklidir (yanıcı olmayan yapıya veya NFPA sınırlı yanıcı tanımına bağlı alçıpan levhalar dahil).

3.8. KİRLİLİK KONTROL ÜNİTELERİ VE FANLAR

NFPA 96, bölüm 1.5'e uygun olarak kanal sistemi ile teknik bir uyum içinde (eşdeğer) olmalıdır. Kirlilik Kontrol Üniteleri UL8782'ye uygun imal edilmelidir.

Kirlilik Kontrol ünitesi hücre panelleri, en az 16 gg (1,463 mm) kalınlığında çelikten veya en az 18 gg (1,14 mm) kalınlığında paslanmaz çelikten yapılmalıdır. Panel içi izolasyon malzemesi yanmaz (taş yünü) malzemeden, 50 mm kalınlıkta ve 150 kg/m³ yoğunlukta olmalıdır. Panel dış saçları 0,8 mm galvanizli saçtan ve boyalı olarak kullanılmalıdır.

Kirlilik Kontrol Ünitesi, sahada ilave imalat veya uyarlama gerektirmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır. Tüm parçalar, birbirine tam uyumlu şekilde ("LEGO" prensibinde) fabrikada hazırlanmalı; montaj perso-

nelinin sahada yalnızca parçaları birleştirmesi ve üretici tarafından sağlanan bağlantı elemanları ile sabitlemesi yeterli olmalıdır. İlişkili parça grupları ve alt montajlar sahada hizalama, ayarlama veya değişiklik gerektirmeden doğrudan birleştirilebilmelidir.

Sahada yapılması zorunlu olan her türlü işlem için üretici tarafından onaylı bir method statement hazırlanmalı ve uygulanmalıdır. Talimatlar açık, eksiksiz ve uygulamaya uygun olmalıdır.,

Sahada delme işlemi yapılmamalıdır. Eğer zorunluysa yalnızca aşağıdaki koşulların tamamı sağlandığında delme işlemi kabul edilebilir:

a. Delme işlemi montajı zayıflatmamalı ve ekoloji ünitesinin iç muhafazasına (inner casing) nüfuz etmemelidir.

b. Gerekli matkap ucu çapı belirtilmiş olmalı ve delinecek noktalar; çizimler, şablonlar, açıklamalar veya benzeri dokümanlarla açık şekilde tarif edilmelidir.

Kirlilik Kontrol ünitesi parçalarının, örneğin yağ kanallarına (baca bağlantısı) entegrasyon gibi zorunlu durumlarda sahada kaynak ile birleştirilmesine izin verilebilir. Bu işlemler yalnızca üretici talimatlarına uygun şekilde yapılmalıdır.

Tüm erişim kapıları, girişler ve penetrasyon noktaları mutlak sızdırmazlık sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Ekoloji ünitesi hücreleri aşağıdakilerin tümüne uymalıdır:

a. Dış muhafazanın, kaplamalar dahil olmak üzere sac levhasının ve diğer malzemelerin minimum kalınlığı 0,8 mm olmalıdır.

b. Ekoloji ünitesinin yağ yüklü buharlarla temas eden parçaları, paslanmaz çelik veya özel kaplı çelikten olmalıdır.

c. Dış muhafaza veya diğer yapısal parçalar, aşağıdaki durumlarda paslanmaz çelik, galvanizli çelik veya alüminyum kaplı çelikten yapılmalıdır:
   - Bozulma veya korozyon, Ekoloji ünitesinin çökmesine veya başka bir şekilde insanların yaralanma riskini artırmasına neden olacaksa; veya
   - Dış atmosferde aşırı yoğuşma veya çok fazla yağmur yağışı varsa.

d. Bir ekoloji ünitesinin veya alt montajlarının bileşenleri, belirtilen malzeme ve kalınlıklardan oluşmalıdır.

3.8.1. Elektrostatik Filtreler (ESP)

Elektrostatik Filtre (ESP) UL867 ve CE sertifikalı olmalıdır.

ESP filtre hücresi NFPA96 ve UL867'ye uygun imal edilmiş olmalıdır.

ESP Hücresi IP64 sınıfına uygun olmalıdır.

ESP filtre kontrol panosu min. IP65 sınıfında olmalıdır.

ESP filtreler 4 kademeden oluşmalıdır.

· G2 Metal filtre

- İyonizasyon kısmı
- Yağ tutucu plakalar
- G2 Metal Filtre

ESP hücresi standart olarak 1,5 mm galvanizli çelik saçtan sızdırmaz şekilde imal edilmiş ve çevresel korozif etkilere karşı boyanmış olmalıdır. İyonizasyon kısmı sert paslanmaz çelikten ve plakalar alüminyumdan imal edilmiş olmalıdır. Kontrol paneli üzerinde açma-kapama şalteri ve açık-kapalı konumunu gösteren ışıklı göstergesi olmalıdır. Kontrol paneli, otomasyon çıkışına açık, kapalı ve arıza bilgilerini verebilme kabiliyetine sahip olmalıdır. **ESP trafosunda akım çekimi arttıkça, güç kaynağı çıkış geriliminin kontrollü şekilde düşmesi sağlamalı; bu amaçla ferrorezonans tip transformatör kullanılmalıdır.** Yüksek güç besleme sistemi izolatörleri IEC 60383'e uygun seramik veya camdan imal edilmiş olmalıdır.

Ekoloji ünitesinde kullanılacak elektrostatik filtre (ESP), ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017 uyarınca test edilmiş olmalı ve minimum aşağıdaki kompozit verim değerlerini sağlamalıdır:

- E1 (0.30–1.0 µm): ≥ %95
- E2 (1.0–3.0 µm): ≥ %99
- E3 (3.0–10.0 µm): ≥ %100

Egzoz ürünlerinin yoluna yerleştirilen ve ikincil filtrasyon veya hava kirliliği kontrolü sağlayan her türlü ekipman, yangın söndürme sistemi üreticisinin talimatlarına uygun olarak kurulmuş onaylı bir otomatik yangın söndürme sistemi ile donatılmalıdır.

In-line fanlar, motorları hava akımının dışında bulunan ve kayış ve kasnakları hava akımından gres geçirmez bir muhafaza ile korunan tipte olmalıdır. Direk akuple fanların motor kısımları hava akım dışında olması yeterlidir. Kullanılacak motorlar daha yüksek sıcaklığa dayanıklı olan Class H sınıfı olması uygun olacaktır.

Filtreler, elektrostatik hücreler ve koku kontrol filtre hücreleri gibi kontrol cihazlarının güvenli bir şekilde çıkarılması ve bakımının yapılması ve ekipman muhafazasının temizlenmesi için tüm erişim panellerinde veya kapılarında yeterli alan sağlanmalıdır.

4. BAKIM GEREKLİLİKLERİ

Ticari mutfak havalandırma sistemlerinin işletilmesiyle ilişkili yağ kaynaklı yangın riskini kontrol etmek için bir bakım planı sağlamak önemlidir. Mutfak havalandırma sisteminin bakımının amacı, yangın riskini azaltmak için pişirme işlemlerinden kaynaklanan kirliliği gidermek, sistem performansını korumak, çevredeki yardımcı alanların sürekli havalandırılmasını sağlamak ve çalışanlar için güvenli ve konforlu koşullar sağlamaktır.

Bakım işleri 3 ana başlıkta yapılmalıdır;

1) Davlumbaz bakımı ve temizliği
2) Egzoz kanalı bakımı ve temizliği
3) Kirlilik Kontrol ünitesi ve Fan bakımı ve temizliği

4.4. Davlumbaz Bakımı ve Temizliği

Davlumbaz temizliği, işletme çalışanları tarafından yapılabilir. Davlumbaz temizliği basit olarak işletme personeli tarafından her gün mesaiden sonra yapılmalıdır. Davlumbaz filtreleri her gün bulaşık makinesinde deterjan ile yıkanmalıdır. Davlumbaz otomatik yıkama sistemi varsa; her akşam mesai bitiminde filtreler yıkanmalıdır. Davlumbaz temizliği profesyonel bakım ekibi tarafından kanal temizliği yapıldığı gün ayrıca detaylı olarak yapılmalıdır.

Davlumbaz temizliği yangın güvenliği açısından çok önemlidir. Mutfak egzoz sistemi yangınları büyük çoğunlukla davlumbaz içinde veya davlumbaz üzerindeki filtrelerde başlar. 3 gün temizlenmeyen davlumbaz ve davlumbaz filtreleri yangına davetiye çıkarır. Ayrıca en az yılda bir defa detaylı ve hijyenik davlumbaz temizliği yaptırmak işletmelere önerilir. Detaylı temizlik davlumbaz performansını iyileştirecek ve davlumbaz çalışma ömrünü uzatacaktır.

4.5. Egzoz kanalı bakımı ve temizliği

Davlumbaz egzoz kanalı, pişirme işleminden kaynaklı üretilen yağ ve duman isi ile sürekli kirlenir. Bu sebeple davlumbaz egzoz kanalı belli aralıklarla temizlenmelidir. Bakım planı, temizlik yöntemlerini, temizlik sıklığını ve raporlanmasını tarif eder.

Kanal temizlik işleri sertifikalı yetki ekipler tarafından yapılmalı ve raporlanmalıdır. Bakım ve temizlik raporları 1 yıl boyunca işletme tarafından muhafaza edilmeli ve istendiğinde İtfaiye yetkililerine ibraz edilmelidir.

Bakım aralıkları mutfak performansına göre değişiklik göstermektedir. Başlangıçta bakım sıklığı tespit edilemediği için aşağıdaki tablo kullanılarak temizlik yapılabilir.

Yağ Seviyesi	Mutfak Tipine Göre Yağ üretimi	Temizleme Aralığı (Ay) Günlük Kullanım			
		6 saate kadar	6-12 saat	12-16 saat	16+ saat
Düşük	Günlük gıda pişirme işlemlerinde düşük yağ tüketimi	12	12	6	6
Orta	Günlük gıda pişirme işlemlerinde orta seviyede yağ tüketimi	12	6	4	3
Yüksek	Günlük gıda pişirme işlemlerinde yüksek seviyede yağ tüketimi	6	3	3	2

Tablo 1. Başlangıç Temizleme sıklığı Hesaplayıcısı

Kanal temizliği için biriken yağ tabakası kalınlığı temel ölçüdür.

Yağ Kalınlığı Testi	Tavsiye Edilen Eylem
Sistem genelinde ortalama olarak 200 µm	Komple temizlik gerekli
500 µm üzerinde herhangi bir tek ölçüm	Ölçüm yapılan bölge için acil temizlik gerekli

Tablo 2. Yağ Kalıntısı Kalınlık Sınırları

Yukarıda verilen değerler, doğru seçilmiş bir davlumbaz ve standartlara uygun (UL1046) davlumbaz içi yağ filtreleri kullanılması durumunda geçerlidir. Standart dışı davlumbaz ve filtreler kanal kirliliğini arttırarak ve yangın riskini neden olacaktır.

4.6. Kirlilik Kontrol ünitesi ve Fan bakımı ve temizliği

Ekoloji ünitelerinin işletme ve bakımı, üreticinin önerdiği prosedürler takip edilerek yapılmalıdır. Ekoloji ünitesi tedarikçileri ekipman ile birlikte işletme ve bakım prosedürünü temin etmelidir. Bakım gereklilikleri kullanım yoğunluğuna ve pişirme tipine bağlıdır ve bu nedenle temizlik ve filtre değiştirme sıklığı bu duruma bağlı olarak değişebilir. İşletmeler, aşağıda belirtilen minimum seviyedeki bakım miktarına bağlı kalındığına emin olacaktır.

En gelişmiş filtreleme sistemleri ve kanal tasarımları bile, detaylı bakım planı takip edilmediği zaman yağ, duman ve kokunun azaltılmasında tamamen etkisiz kalır.

Mutfak Yoğunluğu	Hafif ve	Yüksek	Çok Yüksek
Filtre Tipleri	Orta Yoğunluk	Yoğunluk	Yoğunluk
Davlumbaz Filtreleri	Günlük	Günlük	Günlük
Elektrostatik Filtreler (ESP)	4-6 Hafta	3-4 Hafta	1-2 Hafta
G2 Metal Filtreler	4-6 Hafta	3-4 Hafta	1-2 Hafta
F8 Torba Filtreler	6-8 Hafta	4-6 Hafta	3-4 Hafta
H10 Hepa Filtreler	10-12 Hafta	6-10 Hafta	3-6 Hafta
Aktif Karbon Filtreler	40-60 Hafta	30-40 Hafta	12-24 Hafta

Tablo 3. Standart çalışma koşullarına uygun bakım planı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı pişirme işlemlerinden kaynaklı ticari mutfak havalandırma sistemlerinde potansiyel yangın tehlikesini azaltmaktır. Ticari mutfak havalandırma sistemi davlumbazda başlar ve egzoz atış noktasında biter. Bu iki nokta arasında kullanılan tüm ekipman ve tesisatlar, standartların gerekliliklerine uygun yapılmalıdır. Mutfak yangınları ülkemizde çok yaygındır. İstanbul'da son 4 yılda çıkan mutfak yangınlarının istatistik verileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Dönemi	İtfaiye Müdahalesi ile Sönen		İtfaiye Müdahalesi olmayan Yangınlar	Yangın Toplamı
	Davlumbaz Yangınları	Kanal ve Filtre Yangınları		
2022	1211	498	1035	2744
2023	1460	727	1314	3501
2024	1356	669	1221	3246
2025	1821	672	1367	3860

Tablo 4. İstanbul Mutfak Yangınları

Herhangi bir ticari mutfaktaki ana yangın tehlikesi, ısıtılmış yağların kullanılması, operatör hatası veya hatalı termostatik kontroller gibi pişirme ekipmanı arızası nedeniyle aşırı ısınmadır. Yağlar için güvenli pişirme sıcaklığı (yaklaşık 205˚c) ile yanıcı buharların açığa çıktığı sıcaklık (yaklaşık 230˚c) arasındaki nispeten dar sınır, sürekli denetim gerektirir, daha fazla ısıtmaya izin verilirse kendiliğinden tutuşma riski çok yüksektir (310˚c ile 360˚c arasında).

Kömürlü mangallar yangın riski en yüksek sınıftadır. Katı yakıtların yanmasından dolayı oluşan kül ve közlerin egzoz etkisiyle davlumbaz filtrelerine ulaşması olasıdır. Filtrelerin üzerinde biriken yağın uçuşan közlerle tutuşması mümkündür.

Yangın risklerini azaltmak ve güvenli bir mutfak havalandırma sistemi oluşturmak için standartları takip etmek önemlidir. Güvenli bir mutfak havalandırma sistemi oluşturmak için aşağıda verilmiş standartları uygulamak yeterli olacaktır.

- Davlumbazlar UL710 veya EN16282_2 uygun imal edilmelidir.
- Davlumbaz filtreleri mutlaka UL1046 veya EN16282_6 sertifikalı kullanılmalıdır.
- Davlumbaz söndürme sistemi mutlaka UL300 veya EN17446 sertifikalı olmalıdır.
- Davlumbaz debi ayar damperleri mutlaka UL555 sertifikalı olmalıdır.
- Egzoz kanalı UL1978'e uygun imal edilmelidir.
- Kanal izolasyonu ve Muhafazası UL2221'e uygun yapılmalıdır.
- Kirlilik kontrol Üniteleri UL8782'ye uygun imal edilmelidir.
- Kirlilik Kontrol Ünitesi içinde kullanılan Elektrostatik filtreler mutlaka UL867 sertifikalı olmalıdır.
- Egzoz fanları UL762'ye uygun veya muadil EN standardında kullanılmalıdır.

Yukarıdaki listede bulunan standartların tamamının uygulanması çok önemlidir. Ancak 3 başlıkta malzeme veya bileşenlerin mutlaka sertifikalı olması zorunludur. Bunlar; 1. Davlumbaz filtreleri (UL1046, 2. Yangın söndürme sistemi (UL300) ve 3. Elektrostatik filtre (UL867) dir. NFPA96 standardının amir hükümleri bunlardır. Diğer yazılı ekipman ve imalatların da standartlara uygun imal edilmesi, muayene ve testlerinin yapılması zorunludur.

6. KAYNAKÇA

- NFPA 96 – Standard for Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations.
- EN 16282 – Commercial Kitchen Ventilation Systems.
- UL 710 – Exhaust Hoods for Commercial Cooking Equipment.
- UL 710C – Listed UV Hoods.
- UL 1046 – Grease Filters for Exhaust Ducts.

- UL 300 – Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Commercial Cooking Equipment.
- UL1978 Grease Ducts
- UL2221 Fire Resistive Grease Ducts
- UL 867 – Electrostatic Air Cleaners.
- UL 8782 – Pollution Control Units for Commercial Cooking Operations.
- ASHRAE 154 Ventilation for Commercial Cooking Operations
- ANSI/ASHRAE 52.2 Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size
- EN 17446 Ticari mutfaklarda yangın söndürme sistemleri

7. ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KARAKAŞ

1966'da İstanbul'da doğdu. YTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun oldu. Meslek hayatının ilk 25 yılında Mekanik Tesisat Sektöründe tasarım ve taahhüt konularında çalıştı. 2001-2012 yılları arasında dünyanın en büyük mühendislik şirketleri; Kellog Brown & Root (KBR), Worley Parsons, Fluor ve Jacobs firmaları ile beraber 7 ayrı projede çalıştı. 2018-2020 yılları arasında Katar'da Dünya Kupası stadı Al Thumama'da havalandırma danışmanı olarak çalıştı. 2015 yılından sonra ticari mutfak havalandırma konularında yoğun olarak çalışıyor. Mekanik Tesisat Müteahhitleri Derneği kapsamında 4 kitap çeviri ve yazımında çalışttı. Ayrıca yayımlanmış 6 teknik makalesi vardır. İngilizce ve Rusça Bilmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

ALIŞVERİŞ MERKEZLERİNDEKİ YEMEK KATLARINDA YANGIN RİSKİNİN AZALTILMASI UYGULAMALARI

Muammer AKGÜN, Dr. Barbaros Batur

ÖZET

Türkiye'de faaliyet gösteren alışveriş merkezlerinin yemek katlarında yer alan mutfak davlumbazları ile bu sistemlere bağlı yağlı hava kanallarının temizliği, periyodik kontrolü ve bakımı, yangın güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Hâlihazırda sayısı 442 olan alışveriş merkezlerinin 2026 yılı itibarıyla 448'e ulaşması beklenmekte olup, bu artış yalnızca büyükşehirlerde değil aynı zamanda Anadolu kentlerinde de hız kazanmaktadır. Buna karşın, yemek katlarında kullanılan davlumbaz ve yağlı hava kanal sistemlerinin yangın güvenliği açısından yeterli düzeyde işletildiği söylenememektedir. Denetimlerin yetersizliği ve temizlik işlemlerinin ilgili standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmemesi, sistemlerde yağ birikimine neden olarak yangın riskini artırmaktadır.

Bu çalışmada, alışveriş merkezlerinin yemek katlarında bulunan mutfak davlumbazları ve yağlı hava kanal sistemlerinin mevcut durumu incelenmiş; temizlik, bakım ve periyodik kontrol uygulamaları analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda tespit edilen eksiklikler ortaya konulmuş ve bu eksikliklerin giderilmesine yönelik teknik ve yönetsel çözüm önerileri sunulmuştur. Bu bağlamda, çalışmanın alışveriş merkezlerinde yangın güvenliğinin artırılmasına ve ilgili sistemlerin daha etkin şekilde yönetilmesine katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alışveriş merkezleri, yangın riski, mutfak davlumbazları, yağlı kanal

ABSTRACT

The cleaning, periodic inspection, and maintenance of kitchen hoods and associated grease ducts in the food courts of shopping malls operating in Turkey are critically important for fire safety. The current number of shopping malls is 442, and this number is expected to reach 448 by 2026, with growth accelerating not only in metropolitan areas but also in Anatolian cities. However, it cannot be said that the hood and grease duct systems used in food courts are operated at an adequate level in terms of fire safety. Insufficient inspections and failure to perform cleaning procedures in accordance with relevant standards lead to grease accumulation in the systems, increasing the risk of fire.

This paper examines the current state of kitchen hoods and grease duct systems in the food courts of shopping malls; cleaning, maintenance, and periodic inspection practices are analyzed. The deficiencies identified as a result of the evaluations are revealed, and technical and managerial solutions to address these deficiencies are presented. In this paper, the aim of the study is to contribute to improving fire safety in shopping malls and managing these systems more effectively.

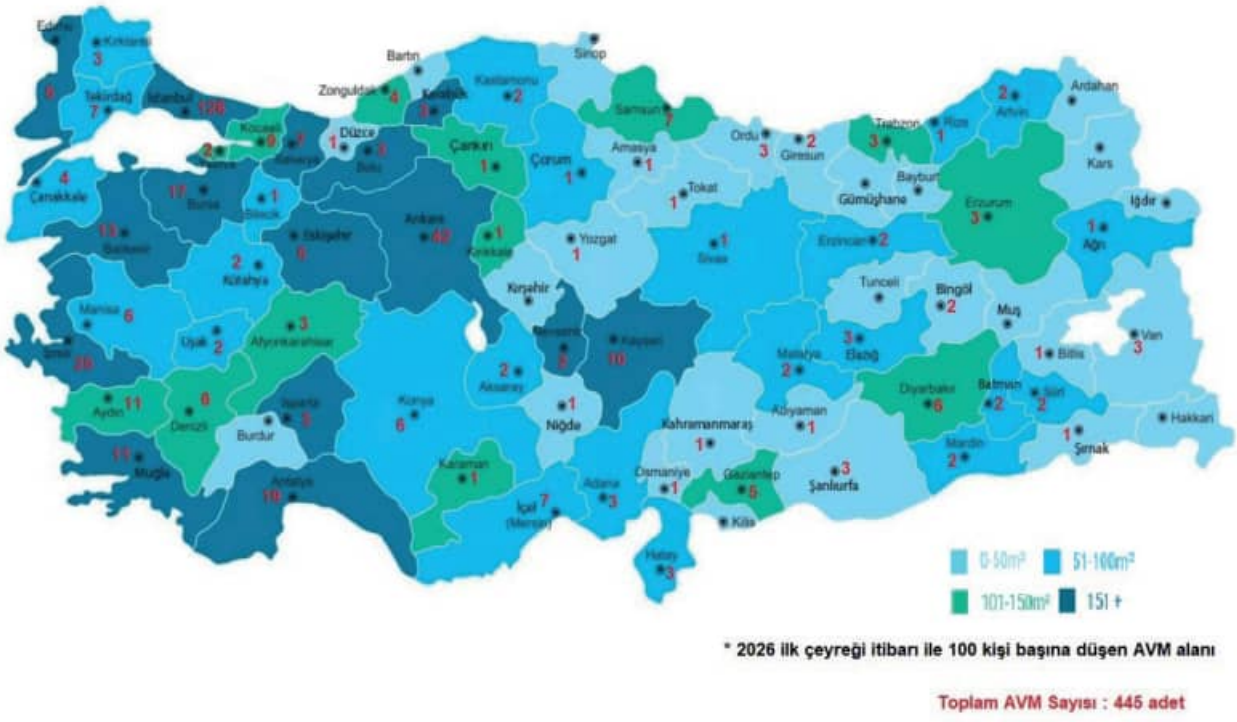
Keywords: Shopping malls, risk of fire, fume hoods, oily duct.

1- GİRİŞ

Alışveriş merkezleri kent yaşamının bir parçası haline gelmiştir. Bugün sayıları 450 civarında olduğu ifade edilen alışveriş merkezlerinin yemek katlarında 4000-4500 arasında değişen restaurant bulunmaktadır. Genellikle mimari olarak bakıldığında yemek katları alışveriş merkezlerinin üst katlarında bulunmalarına karşın bir kaçında alt katlarda bulunmaktadır.

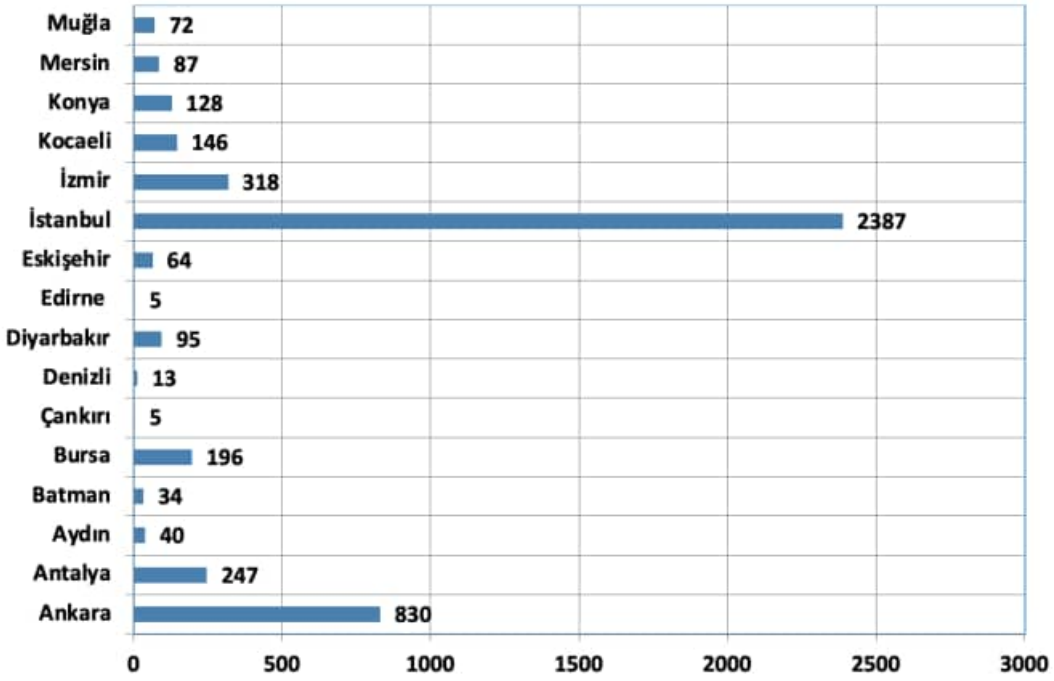
2- MEVCUT DURUM[1]

Genel olarak üç büyük ilimizde konumlanmış olan alışveriş merkezlerini sayıları ülkemiz genelinde hızla artış göstermektedir. Ülkemiz genelinde bulunan alışveriş merkezlerinin illere göre 2026 yılı ilk çeyreği itibarı ile dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. İllerde bulunan AVM sayıları[1].

Alışveriş merkezlerinin sayısındaki artış, özellikle büyükşehir belediyesi sınırları içerisinde yer alan ilçelerde birden fazla alışveriş merkezinin hizmet vermesiyle sonuçlanmıştır. Alışveriş merkezlerinde faaliyet gösteren restoranların sayısının da bu artışa paralel olarak yükselmesi, yangın riskinin artmasına ve yangın güvenliği açısından daha kapsamlı önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır.



Şekil 2. Ülkemizdeki illere göre alışveriş merkezlerindeki restaurant sayıları[7,8].

3- RESTAURANTLARDA BULUNAN YAĞLI KANALLAR VE TEMİZLİĞİ [2,3]

Alışveriş merkezlerinde bulunan yağlı kanal sistemlerinin belirli aralıklarla temizlenmesi, kontrollerinin yapılarak hangi sıklıklarla temizlenmesi gerekliliğini belirlenmesi ile her bir gıda işletmesinin çalışma şekline ve sıklıklarına göre farklılık gösterecek şekilde bir plan oluşturulması gerekmektedir.

Klasik Yağlı kanal sisteminde;
1- Davlumbazlar
2- Yağ tutucu filtreler
3- Emiş ağızları
4- Yatay ve dikey kanallar
5- Fan, Fan hücresi ve kaset filtresi
6- Atış ağzı

Alternatif olarak uygulanan yağlı kanal sistemi;
1- Davlumbazlar
2- Yağ ayırıcılar
3- Emiş ağızları
4- Yatay ve dikey kanallar
5- Elektrostatik Filtre, Karbon Filtre, Ozon jeneratörü, Fan, Fan hücresi
6- Dikey kanallar (opsiyonel)
7- Atış ağzı

kısımlarından oluşmaktadır ve bu kısımların temizliği mutlaka yapılmalıdır. Ancak bu sistemlerde özellikle elektrostatik filtreden sonra hatta yağ yürümesi söz konusu olmadığından temizlik işlemi daha kısa sürmekte ve yağın tüm tesisata yayılmaması nedeni ile yangın riski belirli bir noktada toplanmaktadır.

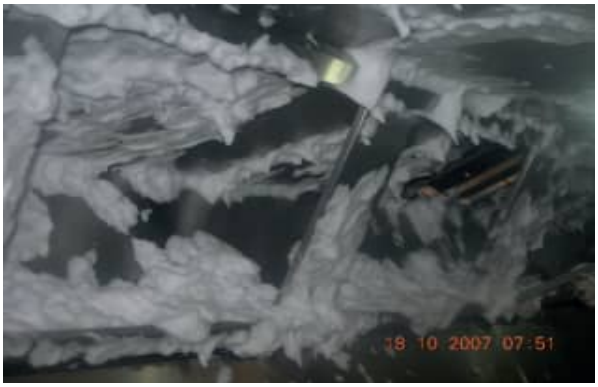
3.1- DAVLUMBAZ VE TEMİZLİĞİ

Davlumbazlar yemek buharıyla ilk karşılaşan bölümdür. Mutfak personelinin temizleme disiplini ile paralel olarak, genelde mutfağa bakan bölümleri temizlenmiş ve parlatılmıştır. Yağ tutucu filtrelerin arkasında bulunan bölüm ise artık yağları görmeye başladığımız yerdir. Davlumbazlarda yağ temizliği ek ve köşe bölge-

lerdeki birikintinin yoğunluğuna göre değişebilmekte, malzemenin çizilebilir olmasından dolayı sert cisimlerle yapılmamaktadır. Köpük Makinası ile uygulanacak doğru konsantrasyondaki köpük, yeterli bekleme süresi, yumuşak tellerle telleme, kalem spatulalar yardımıyla köşelerdeki ve filtre yataklarındaki yağların ortamdan uzaklaştırılmasına yeterli olacaktır. Davlumbaz daha sonra parlatıcılar yardımıyla parlatılıp temiz halde teslim edilebilir.



Şekil 3. Temizlenmesi gereken bir davlumbaz



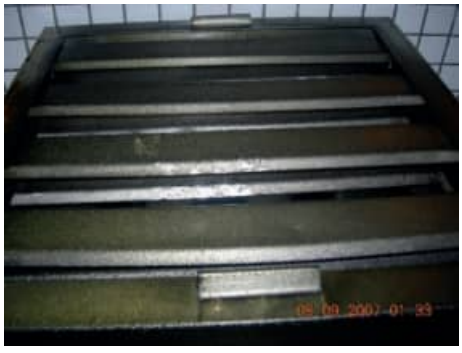
Şekil 4. Davlumbaz temizliği (Köpükle yıkama)



Şekil 5. Temizliği tamamlanmış davlumbaz uygulaması

3.2- YAĞ TUTUCU FİLTRE VE TEMİZLİĞİ

Yağ tutucu filtreler yapım amacına uygun olarak alt taraftan aldığı buhara karşı geçirgen olup yukarıdan damlayacak yağlara karşı bir engel oluşturmaktadır.



Şekil 6. Temizlenmesi gereken yağ tutucu filtre



Şekil 7. Temizliği yapılmış yağ yağ tutucu filtre

Temizliğine başlanırken yerlerinden çıkarılacak filtreler ıslak zeminde kirlilik yoğunluğuna göre uygun olarak hazırlanan kimyasal madde, köpükleme yöntemiyle yıkanıp, diğer alanlardaki temizlik bittiğinde vakumlu sıcak su ile durulanacak, aralarda çıkmayan yağlar var ise tekrar kimyasal uygulanarak tellenecek ve durulanıp kurutulduktan sonra yerlerine takılacaktır.

3.3- EMİŞ AĞZI TEMİZLİĞİ

Emiş ağızları; sistemin aspirasyon işlemini yatay kanallara taşıyan bölümüdür. Çok nadir olarak yatay olmakla beraber genelde dikey sistemlerdir. Dikey sistem çok yağ tutmamakla beraber, kanal içerisinde emiş ağzına yapışarak yüksek oranda birikinti oluşturan yağlar, en ufak bir kıvılcımda yanabilmekte, emiş ağızları temizliği bu nedenle çok önem taşımaktadır. Bu bölümün temizliği ve temiz tutulmasının bir başka nedeni de yataylarda bulunan ve emiş ağzından geri inebilecek yağların, doğru filtre kullanmayan mutfaklarda yemeklere damlama ihtimali sonucu oluşacak hijyen riski ve gıda zehirlenmelerine neden olabilmesi ihtimalidir.

Temizleme kirlilik yoğunluğuna göre gerek önce kazıyarak gerek direk kimyasal köpük yöntemiyle yapılıp yağların kabası alındıktan sonra çok ince detaylarına kadar tellenerek bitirilir.



Şekil 11. Temizlenmesi gereken emiş ağzı



Şekil 12. Temizlenmiş olan emiş ağzı uygulaması

3.4- KANAL TEMİZLİĞİ

3.4.1- YATAY KANAL TEMİZLİĞİ

Yatay kanallar yağın en çok biriktiği yerlerdir. Bu bölge temizlik açısından da zor noktaların başında gelir. Ulaşım zorlukları, dekorasyon engelleri, kanal çaplarının darlığı ve üretim-montaj aşamalarında temizliğin düşünülmemiş olması, yağları temizlemekten daha büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 13. Temizleme öncesi ve temizlenmiş yatay kanal (Çok yağlı kanal)

Yatay kanallarda temizlik için çok farklı yöntemler vardır. Kanal ebatlarının uygun olduğu yerlerde temizlik, kanal içinden yapılmalıdır. Uygun olmayan sistemlerde ise kanallarda kontrol kapakları açarak yapılır. Bu tür temizlik işleminde karşılaşılan temel problemler, kanal gidiş istikametinde engel olabilecek dekorasyon, duvar geçişleri, kanala ulaşım zorluğu vb.dir. Genelde kanal içinde biriken riskin ne anlam ifade ettiğini bilen kuruluşlar, bu problemleri çözerek kanalın temizliğini sağlamaktadırlar. Herhangi bir problemin, yatay kanal temizliğine engel olması, kabul edilebilir bir durum değildir.

Kanal içinde biriken riski kontrol etmek mümkün değildir.



Şekil 14. Temizleme öncesi ve temizlenmiş yatay kanal
(Hafif yağlı kanal – kazıma yöntemi – kimyasal temizlik)

3.4.2- DİKEY KANAL TEMİZLİĞİ

Dikey kanallar içinde biriken yağlar yatay kanallardaki kadar yoğun olmamakla birlikte temizlik sürecinde göz ardı edilebilecek yerler değildir.



Şekil 15. Temizlik öncesi ve kimyasal köpük uygulaması ile temizlenmiş dikey kanal

Dikey ve uzun kanallarda uygulanacak temizlik yöntemi, sadece kimyasal köpük yöntemidir. Uygulamanın düzenli ve sürekli olması, bir süre sonra riskin ortadan tamamen kalkmasını sağlamaktadır.

İşlemin sonucunu kanal içindeki yağların direnci ile kullanılan kimyasalın gücü arasındaki ilişki belirlemektedir.

3.5- YAĞ AYIRICILAR, ELEKTROSTATİK FİLTRE, KARBON FİLTRE, OZON JENERATÖRÜ VE TEMİZLİĞİ [3,4,9]

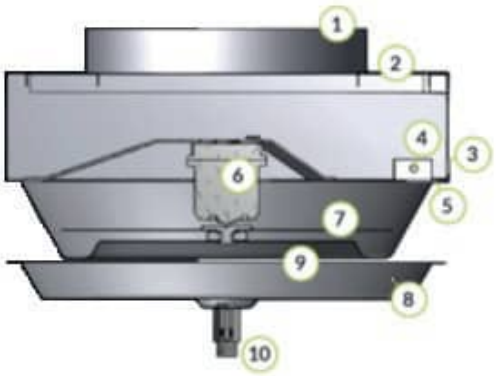
Yüksek oranda pişirme ve kızartma işlemlerinin yapıldığı endüstriyel mutfak uygulama sürecinde yağ ve dumanla birlikte yüksek sıcaklığa sahip duman gazı oluşmaktadır. Oluşan yağ parçacıklarının, duman gazının ve sıcak havanın ortamdan kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması ve atmosfere atılmadan önce koku ve dumandan arındırılması işleminin hem insan ve çevre sağlığı açısından hem de yönetmelikler gereği yapılması gerekmektedir.



1- Kirli hava davlumbazın içine doğru yükselir.
2- Davlumbaz içindeki yağ ayırıcı tarafından sıcak ve kirli hava hızlı bir şekilde emilir.
3- Davlumbazdaki klavuz hava kanalları, tozu ve yağı, yağ ayırıcıya yönlendirir.
4- Ortamdan emilen hava yerine, taze hava davlumbazdan ortama verilir.

Şekil 13: Davlumbaz içi Yağ Ayırıcı Uygulaması.

Yağ ayırıcılar, merkezkaç kuvvet etkisine dayalı olarak, 2 µm kadar küçük yağ partiküllerini bile mekanik olarak ayırır. Hızla dönen ayırma diski küçük partikülleri bile kolaylıkla ayırır ve bunları yüksek bir hızla ayırma odasının dış kenarlarına fırlatır, buradan da yağ ve diğer kirlilikler toplama havuzuna akar.



1. Davlumbaz bağlantı ağzı
2. Dengeleme damperleri
3. Limit anahtarı
4. Sinyal lambası
5. Kubbe sabitleme
6. Elektrik motoru
7. Ayırma plakası
8. Hava akışı ölçüm musluğu
9. Toplama tavası
10. Yağ boşaltma musluğu

Şekil 14: Yağ Ayırıcının kesit resmi.



Kirli hava, davlumbaz içindeki yağ ayırıcı tarafından emilir



Kirli hava, dönen delikli bir ayırma plakası ile emilir.



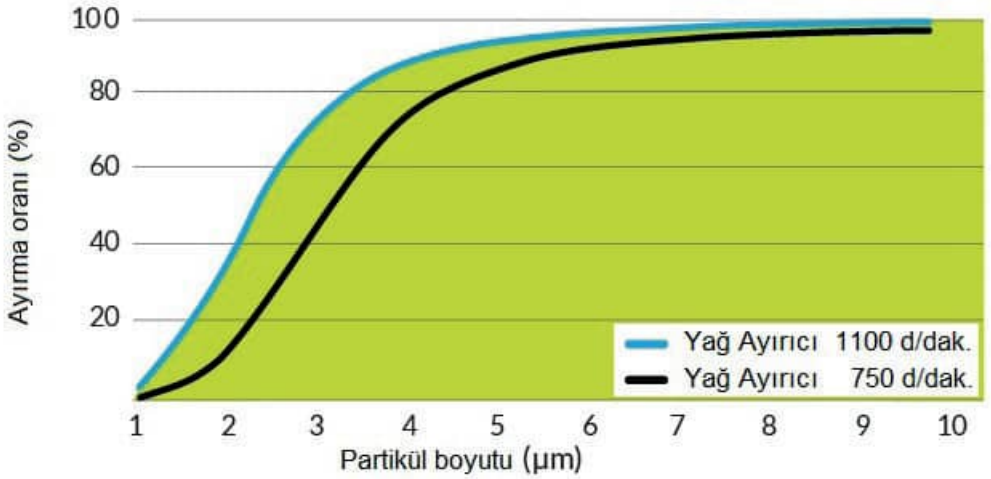
Partiküller plaka ile çarpışır ve muhafazasından geçerek toplama tavasında toplanmak üzere yağ ayırıcının yanlarından doğru dışarı atılır.



Biriken yağ, bir vana aracılığıyla toplama tavasından boşaltılır.

Şekil 15: Yağ Ayırıcının çalışma prensibi.

Yağ ayırıcı tarafından ayrıştırılan sıvı yağ ve kirler, toplama tavasında birikir. Mutfak yüküne bağlı olarak haftalık veya daha uzun sürelerde toplama tavasında boşaltma musluğunun açılmasıyla yağ ve kirler dışarı alınır.



Şekil 16: Yağ ayırıcılarda yağ ayrıştırma oranları[9].



Şekil 10- Yağ ayırıcıların davlumbaz uygulamaları

Yüksek oranda pişirme ve kızartma işlemlerinin yapıldığı endüstriyel mutfak uygulama sürecinde yağ ve dumanla birlikte yüksek sıcaklığa sahip duman gazı oluşmaktadır. Oluşan yağ parçacıklarının, duman gazının ve sıcak havanın ortamdan kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması ve atmosfere atılmadan önce koku ve dumandan arındırılması işleminin hem insan ve çevre sağlığı açısından hem de yönetmelikler gereği yapılması gerekmektedir.

Elektrostatik filtreler, duman ve koku partiküllerini tutmak için tasarlanmıştır. Kirli duman gazı dört farklı aşamadan geçirilerek tam manasıyla ayrıştırma sağlanır. Aşağıdaki şekilde, elektrostatik filtrenin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 16: Elektrostatik Filtrenin Çalışma Prensibi.

Kirli duman gazı, ilk olarak ön filtreden geçer. Bu sayede büyük partiküller gözenekli yapıya takılarak tutulur. Geride kalan 10 ile 0,1 mikron büyüklüğe sahip kirleticiler iyonizer yükleyicide negatif elektrik yükü ile yüklenir. Toplayıcı hücreden geçen negatif yüklü parçacıklar pozitif yüklü plakalar sayesinde çekilerek toplanır. Zamanla biriken bu parçacıklar plakalardan süzülerek yağ tavasında birikir. Son metal filtre, ön metal filtre ile aynı özelliklere sahiptir. Cihaz kapatıldığında İyonizasyon bölümü veya Toplayıcı Hücre bölümünden kopabilecek parçacıkların, cihazın tekrardan çalışması esnasında fan hücresine geçişini önlemek amacı ile kullanılmaktadır.

Bu uygulama sonrasındaki kanal sistemine yağ ve koku geçişi olmadığı için daha kısa dikey hat uygulamaları yapmak mümkün olmaktadır. Bununla birlikte bu uygulama sonrasındaki kanal sisteminin yangın riski en aza inmektedir.



Şekil 17: Elektrostatik Filtre.

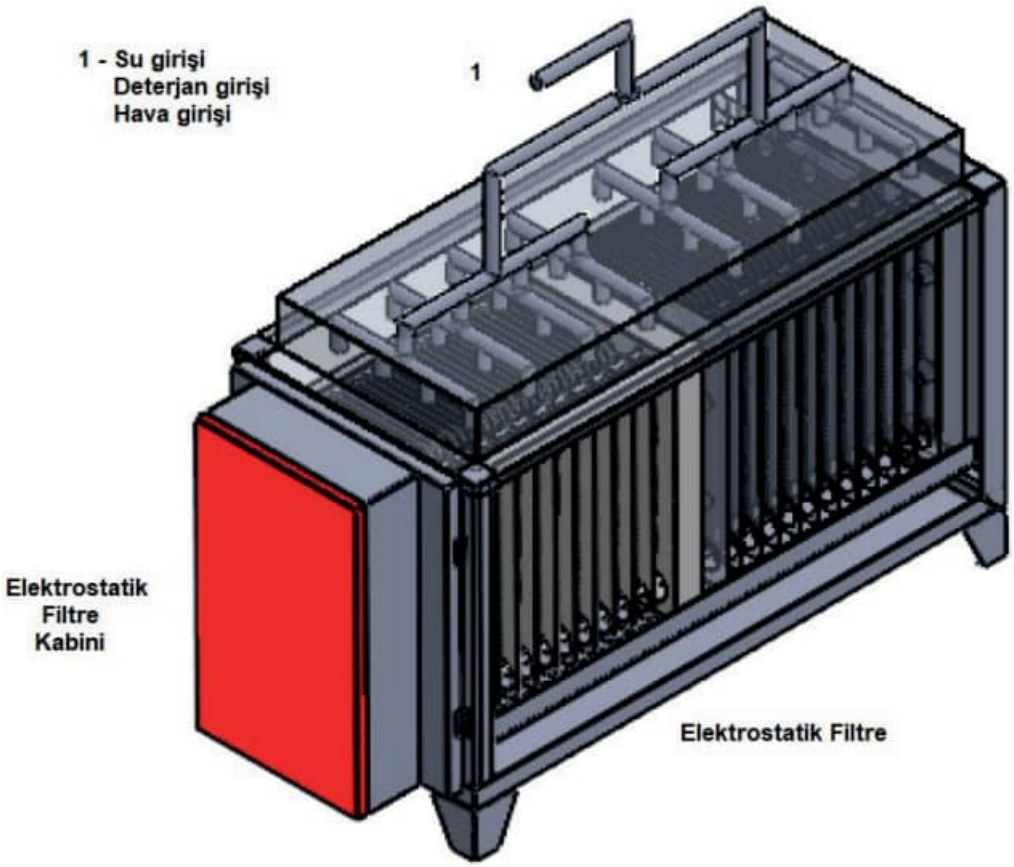
Elektrostatik filtrelerin temizliği için yıkama kazanına su doldurulur ve yeterli miktarda yağ çözücü esaslı kimyasal ilave edilir. Kirlenen elektrostatik filtre, bir askı sistemi ile yıkama kazanına daldırılır. Kazan içerisindeki su ve yağ çözücü esaslı kimyasal karışım 50-60 °C'ye kadar ısıtılır ve pompa ile karışım kazan içerisinde sirküle edilir. 10-25 dakika sonra temizlenmiş elektrostatik filtre kazandan alınır. Durulanır ve kurutularak yerine konulur. Bir diğer yöntem ise ultrasonik yıkama yöntemidir.



Şekil 18: Temizlik öncesi kirli ve temizlenmiş elektrostatik filtre uygulaması

Bu yöntemin sahada uygulanamaması ve elektrostatik filtrenin temizleme firmasına götürülerek yapılıyor olması nedeniyle sürekli olarak yedek elektrostatik filtreye ihtiyaç doğurmaktadır. Bu nedenle elektrostatik filtre içerisinde yıkama, durulama ve kurutma işlemini yapan üniteler geliştirilmiştir.

Bu sistemde elektrostatik filtre, kabin içerisinde çıkarılmadan kirlendiği ve işletmede çalışma bittiği zaman sistem devreye alınır. Devreye giren sistem, depoda bulunan kimyasal yağ çözücüyü elektrostatik filtrenin üzerinde bulunan püskürtme nozülleri üzerinden püskürtür. Püskürtme işlemi bittikten sonra yağın çözülmesi için yağ çözücü 15 dakika bekletilerek yağ ve partiküllerinin tamamı filtrenin alt kısmında bulunan dreneja gönderilir. Ardından püskürtme nozüllerinden pompalanan sıcak su ile filtre yıkanır ve durulanır. 15 dakika beklenip suyun tamamen dreneja akması beklenir. Ardından püskürtme nozülleri üzerinden basınçlı hava ile gönderilerek filtrenin tamamen kurutulması sağlanır. Bu sistem, yatay ve dikey kanallara yağ yürümesini çok başarılı bir şekilde engellediği için potansiyel yangın riskini önlemesi açısından önemlidir. Mevcut sistemlerde bu uygulamaya geçilmesi özellikle yatay kanal temizliği zor olan uygulamalar için çok sağlıklı sonuçlar oluşturacaktır.



Şekil 19: Yıkama, durulama ve kurutma sistemi üzerinde bulunan elektrostatik filtre uygulaması

Aktif karbon filtreler, gaz halindeki kokuları kontrol etmek amacıyla kullanılır. Karbon gözenekli yapısı nedeniyle bünyesinden geçen gaz kokuları absorbe eder. Bu sistemlerin dezavantajı, hızlı bir şekilde yapılarının doyması ve her sene değiştirilmesi gerekliliğidir. Bunu engellemek için ozon bazlı sistemler kullanılarak aktif karbon yüzeyinde biriken koku moleküllerinin oksitleyerek karbon filtrelerin kullanım süreleri uzatılabilmektedir.



Şekil **20:** Aktif Karbon Filtre

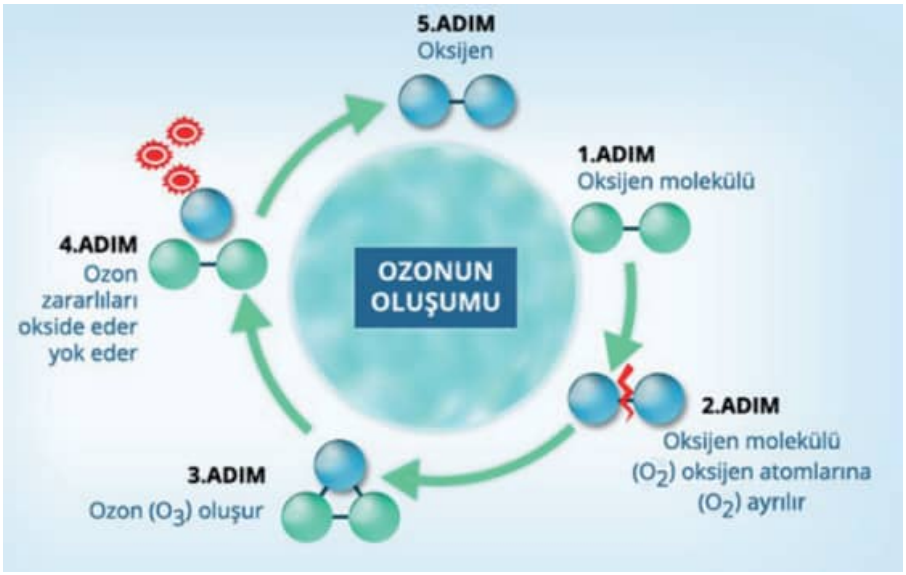


Şekil 21: Elektrostatik Filtre + Aktif Karbon Filtre+ Fan Uygulaması

Mutfaklarda oluşan kötü kokular, zaman içerisinde kalıtsal hale gelerek mutfağın her yüzeyine sinebilmesine neden olur. Ayrıca bu kokular, servis alanlarına da kolaylıkla yayılabilir. Hem işletmeler hem de müşteriler için son derece rahatsız edici olabilen bu sorun, **ozon gazı kullanımı** ile çözülebiliyor.

Ozon gazı üreten ozon jeneratörleri, dezenfeksiyon ve koku gidermede oldukça etkili sonuç verir. Ozon uygulanan ortamlarda kısa süre içerisinde hem temiz hem de ferah bir ortam oluşturulur. Kanal tipi ozon jeneratörleri de endüstriyel mutfaklarda pişirme esnasında oluşan yemek kokularını ortadan kaldırarak bu ortamın elde edilmesini sağlar.

Ozon gazı, güçlü bir oksitleme özelliğine sahip bir gazdır. Bu nedenle bakteri, virüs, küf ve mantarların yok edilmesinde etkili bir rol oynar. Ozon jeneratörleri, endüstriyel mutfaklarda kullanılan mutfak aletleri, cihazlar ve yüzeylerin dezenfekte edilmesinde kullanılabilir. Bu cihazlar, özellikle gıda üretimi için kullanılan tezgahlar, bıçaklar, kesme tahtaları ve diğer ekipmanların temizlenmesinde etkili bir çözümdür.



Şekil 22: Ozon gazı ile koku giderilmesi uygulaması [9]

Ozon gazı, uygulandığı ortamdaki tüm kokuları maskelemeden yok eder. En dirençli kokuları bile çok kısa sürelerde ortamdan arındırabilme özelliğine sahiptir. Bu işlemi yaparken de ortama ve çevreye hiçbir hasar vermez. Bu da alternatiflerine göre daha güvenli bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır

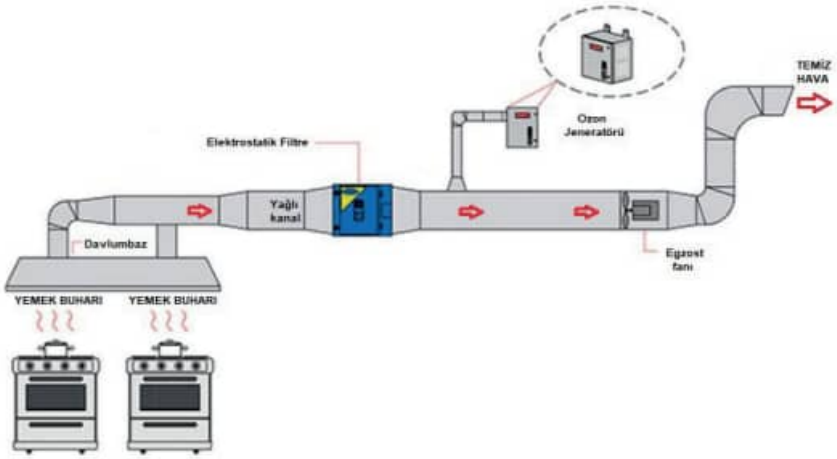
Kanal tipi ozon jeneratörleri, endüstriyel mutfakların davlumbazlarından dışarı egzoz edilen duman gazlarında bulunan Koku ve yağlardan arındırılır. Egzoz kanalına yerleştirilen ozon jeneratörü, koku moleküllerini parçalayarak kokuyu nötr hale getirir. Dışarı verilen havada rahatsız edici kokuların engellenmesini sağlar.

Ozon, endüstriyel mutfakların egzoz bacalarında güvenle kullanılan bir yöntemdir. Kanal tipi ozon jeneratörü ile hem **baca temizliği** hem de **koku giderimi** kolaylıkla sağlanır. Ozon jeneratörleri, çevre dostu cihazlar olarak artık madde oluşturmadan koku giderimini gerçekleştirmesiyle de avantaj sağlar.

Ozon teknolojisi;

- 3 oksijen atomunun bir araya gelmesiyle oluşan ozon, tamamen doğal bir bileşendir, çevreye zarar vermez. İşlem sonrası geride sadece oksijen kalır,
- Klordan yaklaşık 3000 kat daha etkili, dünya üzerindeki en etkili dezenfektandır,
- Sadece elektrik enerjisiyle çalışır, başka bir sarf malzeme ihtiyacı yoktur,
- 7 gün 24 saat ortam sterilizasyonu sağlar, virüs ve mikropları anında yok eder,
- Hızlı ve etkin dezenfeksiyon sağlar, kalıntı ve tortu bırakmaz, korozyon oluşturmaz, mevcut korozyonları da yok eder.
- Kimyasal dezenfektanlar gibi yüzeyde kapatıcı özellik göstermeden hijyen sağlar
- Oksijenin olduğu her alana nüfuz eder, püskürtme veya sisleme yöntemi gibi uygulama zorluğu yoktur,
- Cilde ve insan sağlığına zarar vermez, alerji yapmaz.
- Geniş bir antimikrobiyal spektruma sahiptir, bakteri oluşumuna müsaade etmez.
- Duvar, ahşap, plastik, cam, sert ve hassas yüzeylere zarar vermez.
- Ortamdaki pis ve kötü kokuları maskelemeden yok eder. Taze, hijyen ve temiz bir hava oluşturur.
- Düşük konsantrasyonda dahi yüksek oksidasyon aktivitesine sahiptir,
- Ortamdaki klima ve havalandırma cihazlarından çıkan havayı da dezenfekte eder.

Bu sistemin tek dezavantajı, aktif karbon filtrelere göre pahalı olmasıdır. Ancak aktif karbon filtrelerdeki karbonun zamanla değiştirilmesi gerektiği için uzun süreli kullanımlarda ozon jeneratörleri cazip hale gelmektedir.



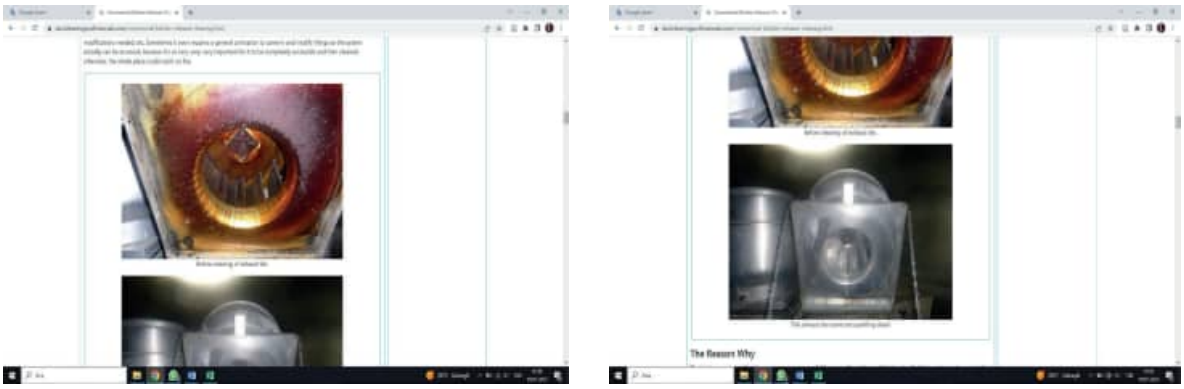
Şekil 23. Elektrostatik filtre ve Ozon jeneratörü uygulaması.

3.5- FAN. FAN HÜCRESİ VE KASET FİLTRE TEMİZLİĞİ

Fan ve fan hücresi temiz sistemlerde en hızlı kirlenen bölümdür. Çekişin kuvvetli olması yağların kanal içerisinde tutunmasını engelleyip fana ulaştırmaktadır. Ortamdaki hava sirkülasyonu da bu yağların çok çabuk kuruyarak katılaşmasını sağlar. Bu yüzden fan ve fan hücresi sistemde karşılaşabileceğimiz en sert ve çok yağa sahip bölümlerdendir.

Fan, fan hücresi temizliği kimyasal köpük yöntemiyle yapılmalı ardından durulanmalı ve kurutulmalıdır. Bu arada sistemin elektrik motoruna elektrik aksam temizliğine uygun kimyasallar ile müdahale edilmeli elektrik motorlarına su girmemesi için ardından koruma altına alınmalıdır.

Fan hücresi girişlerinde bulunan kaset filtreler yağ tutucu filtreler ile aynı yöntemle temizlenmelidir.



Şekil 24. Temizlemesi gereken ve kimyasal köpükle temizlenmiş fan.



(a)



(b)

Şekil 25: Temizlenmesi gereken kirli (a) ve kimyasal köpükle temizlenmiş (b) kaset filtreler

3.6- ATIŞ AĞZI TEMİZLİĞİ[5,6]

Atış ağzı sistemin fandan sonraki bölümüdür. Genelde dikey olmakla beraber yatay sistemler de vardır.

Atış ağızları genelde ulaşım zorlukları ile karşımıza çıkmaktadır. Pek çok uygulamada erişim güçlüğü, müdahale ve temizlik için yürüme yolları olmadığından bu kısımlar sadece imkan dahilinde vinçli araçlar yardımıyla temizlenebilmektedir. Baca uygulama kuralları gereği yanında bulunan binalardan yüksek olma zorunluluğu nedeniyle bina veya komşu binaların duvarlarında ya da dış cephelerinde çok dar ve uzun düşey kanallar görebiliriz. Bu sistemlerindeki yangın riskini azaltmak adına temizlik sıklıklarına çok dikkat edilmelidir.

Dikey ve uzun atış ağızlarında yapılacak temizlik sadece kimyasal köpük yöntemidir.



Şekil 26. Atış ağzı temizliği yapılmış bir kanal.

4- SONUÇ VE ÖNERİLER

Binaların Yangından Korunması Yönetmeliği gereğince tüm yangın riski olan mahallerin sorumluluğu itfaiye kuruluşlarındadır. Özellikle ciddi yangın riski oluşturmakta olan yağlı kanallar ile ilgili mevzuatlarda herhangi bir ibare ile karşılaşılmamaktadır. Ülkemizde bulunan 81 ilinde bulunan ve bunlarda 30 tanesi büyükşehir belediyeleri bünyesinde olan itfaiyelerce denetlenmek ve karşılaşılan risklere göre önlem alınmak zorundadır. Özellikle büyükşehir belediyeleri bünyesinde bulunan denetim ve kontrol birimlerinin bacalar konusunda kısmi çalışmaları olmasına rağmen yağlı kanal konusunda çalışma çok az veya yetersizdir. Bazı büyükşehir belediyelerine bağlı itfaiye birimleri baca ve yağlı kanal temizliği konusunda faaliyet gösteren özel firmaları yetkilendirilerek bu boşluk doldurulmaya çalışılmaktadır. Bunun dışında kalan itfaiyelerde yetkilendirme konusunda hiçbir çalışma yapılmamaktadır. İtfaiyelerce baca-yağlı kanal temizlik yetkisi verilen özel firma sayısının, AVM'lerde bulunan restaurant sayısı kıyaslandığında yetersiz olduğu aşikardır. Bu da yapılan temizliğin kalitesini ciddi anlamda kötü yönde etkilemektedir. Belediyelerdeki denetim ekiple-

rinin sayısının yetersizliğinin yanı sıra, bu kanalların temizlik işini yapan firmaların işlerini uygun vasıflı ve belgeli personel kullanmadan gerçekleştirmeleri yangın riski açısında büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

Gerek klasik yağlı kanal sistemlerinin temizlenmesinde gerekse alternatif yağlı kanal sistemlerinin temizlenmesinde, Baca ve yağlı kanalların mesleki yeterlilik belgesi olan yetkin personeller tarafından temizlenmeli, kontrol edilmeli ve yapılan işe ait formları doldurarak kayıt altına almalıdır. Temizliği yapılarak kayıt altına alınan işlerin bilgileri, yetki alınan itfaiyelerle paylaşılmalıdır. Ayrıca yapılan işlere ait temizlik periyotlarının çok iyi belirlenmesi ve en azından yılda bir kez ülke genelinde yapılan işlerin denetiminin yapılması, yapılan denetimler sonucunda uygunsuz iş yapan firma ve/veya personelin yetki belgelerinin iptal edilmesi sonucunda potansiyel yangın riski en aza indirilebilir.

Her geçen gün alışveriş merkezlerinin sayısı ile birlikte bünyelerindeki restaurant sayısı da artmaktadır. Özellikle yemek katlarında uygulaması yapılan yağlı kanal projelerinin binanın ruhsat aşamasında yapılan kontrollerinde yangın riskini ne kadar azalttığı dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte her yıl bu sistemlerde yapılan yeniliklerle yağ ayırıcılardan sonra kendinden yıkamalı elektrostatik filtre gibi sistemlerin katılması yangın riskini en aza indiren alternatif yağlı kanal sistemlerinin uygulanmasına özen gösterilmelidir. Başka bir deyişle yangın riskini en aza indirecek projelerin uygulamasının yanında iyi bir denetim mekanizması ile bu süreçlerin kontrol altında tutulması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1]- http://gyodergosterge.com/detay/avm

[2]- Binaların Yangından Korunması Yönetmeliği

[3]- TUBADER Bilgi Bankası.

[4]- AKGÜN,M., BATUR,B. ,"Alışveriş Merkezlerinin Yemek Katlarında Yangın Riskinin Azaltılması Uygulamaları", TÜYAK Kasım 2023.

[5]- AKGÜN,M., BATUR,B. ,"Alışveriş Merkezlerinin Yangın Riski Açısından Değerlendirilmesi", Termodinamik Dergisi, Ekim-2019.

[6]- AKGÜN, M., SEVİNDİR,M.K., "Alışveriş Merkezlerindeki Yemek Katlarının Yangın Riski Açısından Değerlendirilmesi", TÜYAK 2017.

[7]- http://www.avmlife.com.tr/haber/4009/butun-avm-lerin-listesi.html

[8]- http://menuburada.com/araclar/avm-listesi-ve-restoranlari/

[9]- Deniss Klauson. Physical and Chemical Properties of Ozone. OZONE SCIENCE AND TECHNOLOGY, Oyama,S.T. (2000). Chemical and catalytic properties of ozone. Catalysis Reviews, 42(3).

Mak.Y.Müh. Muammer AKGÜN, 1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından Yüksek Mühendis olarak mezun olmuştur. Aynı yıl Doktora programına başlamış ancak tez aşamasından doktora programını bırakmıştır. MMO İstanbul Şubesi bünyesinde yayınlanan "Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sistemleri" kitabının altı bölümünün yazarı ve son üç baskısının da editörü, ISKAV bünyesinde yayınlanan "Endüstri Kazanları" kitabının bir bölümünün yazarı, ISKAV bünyesinde yayınlanan "Sıcak Su Kazanları" kitabının iki bölümünün yazarı ve son baskısının editörüdür. Yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazıları bulunmaktadır.

Dr. Barbaros BATUR, .Yıldız Teknik Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesinde, Yüksek Lisansını Marmara Üniversitesinde, doktora eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesinde tamamlamıştır. İlgi alanları Enerji, ısıtma, soğutma, HVAC ve tesisattır.

YANGIN YÜKÜ HESAPLAMALARININ YAPISAL YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN ÖNEMİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Hasan İŞCİ
Zeydin SARPDAĞ
Ahmet Mert AYDIN
Muhammed Fatih CELEP

ÖZET

Bu çalışma, yangın yükü hesaplamalarının yapısal yangın güvenliği tasarımındaki kritik rolünü ve karmaşık sayısal modellemelere başvurmadan uygulanabilecek temel hesap yöntemlerini incelemektedir. Ofis kullanımı için tanımlanan 96 m² taban alanına sahip örnek bir kompartımanda; yanıcı envanter, toplam enerji, yangın yükü yoğunluğu (q_{fd}) ve açıklık faktörü (O) üzerinden dokuz farklı parametrik senaryo oluşturulmuştur. Değerlendirmeler, yangın yükü yoğunluğunun temel senaryodan (420 MJ/m²) yoğun depolama senaryosuna (720 MJ/m²) çıkmasının yalnızca tepe gaz sıcaklığını artırmakla kalmadığını; taşıyıcı sistem stabilitesi için asıl yıkıcı etkiyi yaratan 500 °C üzerindeki maruziyet süresini ve soğuma evresini belirgin şekilde uzattığını göstermektedir. Ayrıca açıklık faktörünün artması oksijen teminini kolaylaştırarak tepe sıcaklığı yükseltse de yangın süresini kısaltarak yapısal elemanların ısıl ataletle verdiği tepkiyi değiştirmektedir. Sonuçlar, yangın yükü ve havalandırma koşullarının Eurocode ile NFPA/SFPE mühendislik yaklaşımlarında olduğu gibi pasif koruma kararlarıyla entegre edilmesinin, tasarım süreçlerini daha izlenebilir, denetlenebilir ve rasyonel hale getirdiğini kanıtlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Yangın yükü, yangın güvenliği, iş sağlığı ve güvenliği, parametrik değerlendirme, yapısal yangın güvenliği.

ABSTRACT

This paper examines the critical role of fire load calculations in structural fire safety design and presents practical computational steps that can be implemented without resorting to overly complex modeling. Using a representative 96 m² office compartment, nine parametric scenarios were developed to evaluate combustible inventory, total heat release potential, fire load density (q_{fd}), and opening factor (O). The parametric assessment demonstrates that increasing the fire load density from the baseline (420 MJ/m²) to a dense storage scenario (720 MJ/m²) not only increases the peak gas temperature but significantly prolongs the cooling phase and the duration of exposure above 500 °C, which is critical for structural stability. Furthermore, while a higher opening factor increases ventilation and peak temperatures, it accelerates fuel consumption, shortening the overall duration of the fire. The findings confirm that interpreting fire load collaboratively with ventilation and thermal inertia-in alignment with Eurocode and NFPA/SFPE engineering frameworks-yields more transparent, auditable, and robust structural fire design decisions.

Keywords: Fire load, fire safety, occupational health and safety, parametric assessment, structural fire safety.

GİRİŞ

Yapı yangın güvenliği tasarımında en önemli kararlardan biri tasarım yangınının nasıl temsil edileceğidir. Standart sıcaklık-zaman eğrileri karşılaştırma ve yönetmelik uygunluğu açısından ortak bir referans sağlasa da gerçek bir kompartımanda yangının gelişimi; kullanım türü, yanıcı envanter, havalandırma açıklıkları, geometri ve sınır elemanlarının ısıl özellikleri gibi birçok değişkene bağlıdır [1–4]. Ayrıca yangın gelişme hızı ve aktif yangın güvenlik sistemlerine ilişkin kabuller de taşıyıcı elemanların davranışını etkilemektedir [5, 6]. Bu nedenle performansa dayalı tasarımda yangın yükü hesabı, tasarımın temel mühendislik girdilerinden biri olarak değerlendirilmektedir [1–6].

Son yıllarda yapısal yangın mühendisliği literatürü, tekil güvenlik katsayılarına dayalı yaklaşımlardan senaryo temelli ve olasılıksal yöntemlere yönelmiştir [7, 8]. Özellikle büyük hacimli veya açık planlı kompartımanlarda yangının tüm alanda eş zamanlı geliştiği kabulü her zaman gerçekçi olmadığından, tasarım esaslı kompartıman yangınlarının tanımlanmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır [9, 10]. Bu kapsamda Eurocode parametrik yangın eğrilerinin geçerlilik sınırları [11, 12], ısı salım hızı modellemeleri [13] ve model belirsizliklerinin değerlendirilmesine yönelik stokastik yaklaşımlar [14] literatürde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Yangın yükü yoğunluğu tasarım yangınının enerji potansiyelini belirlerken, açıklık faktörü bu enerjinin yanma sürecine nasıl yansıyacağını etkilemektedir. Okul, ofis, otopark ve konut gibi farklı yapılarda gerçekleştirilen çalışmalar, yangın yükünün sabit bir tablo değerinden ibaret olmadığını göstermektedir [15–17]. Kullanım şekli, depolama yoğunluğu, kullanılan malzemeler ve dijital envanter belirleme teknikleri gibi etkenler nedeniyle yangın yükü yoğunluğu farklı değerler alabilmektedir [18–20].

Bu bildirinin amacı, yangın yükü hesabı ile yapısal yangın güvenliği kararları arasındaki ilişkiyi mühendislik uygulaması açısından açıklamak ve çok karmaşık modellemeye girmeden kullanılabilecek temel hesap akışını göstermektir. Çalışma, tek bir nihai tasarım değeri önermekten çok, karar vericinin hangi varsayımın sonucu ne ölçüde değiştirdiğini görebileceği şeffaf ve denetlenebilir bir yaklaşım sunmaktadır.

YANGIN YÜKÜ HESABI VE TASARIM SENARYOSU

Yangın yükü, kompartımanda yanabilen malzemelerin alt ısıl değerleri ile kütlelerinin çarpımından elde edilen toplam potansiyel enerjinin taban alanına bölünmesiyle ifade edilir. Uygulamada tasarım yangın yükü yoğunluğu (q_{fd}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$q_{fd} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i \cdot H_i \cdot \psi_i)}{A_f} \qquad (1)$$

Burada M_i malzeme kütlesini (kg), H_i net yanma ısısını (MJ/kg), ψ_i yanabilirlik (yangına katılım) katsayısını, A_f ise kompartıman taban alanını (m^2) temsil eder. Tasarım aşamasında bu temel değere; yanma verimi, aktif yangın söndürme sistemlerinin güvenilirliği, kullanım türüne bağlı risk faktörleri ve hedef güvenilirlik düzeyi gibi düzeltme katsayıları uygulanır [21–24].

Bu hesaplama sürecinde iki temel hata kaynağı öne çıkar. Birincisi, envanterin eksik veya fazladan sayılmasıdır; mobilya, arşiv malzemeleri, kablo yoğunluğu, duvar kaplamaları ve plastik esaslı ürünler çoğu zaman aynı hassasiyetle değerlendirilmez. İkincisi ise hesaplanan toplam enerjinin yangın gelişim hızına ve havalandırma koşullarına nasıl dönüştürüleceğidir. Aynı yangın yükü yoğunluğu, küçük açıklıklı ve iyi yalıtılmış bir kompartımanda uzun süreli, oksijen sınırlı bir yangına yol açarken; büyük açıklıklı bir kompartımanda daha yüksek tepe sıcaklıklı ancak daha kısa süreli bir yangın rejimine dönüşebilir.

Yangın yükü envanteri hazırlanırken yalnızca sabit mobilyaların değil, binanın kullanım ömrü boyunca değişkenlik gösteren geçici yüklerin de dikkate alınması gerekir. Ofis gibi düşük veya orta tehlike sınıfında değerlendirilen bir kullanımda dahi; periyodik arşiv depolamaları, geçici etkinlik malzemeleri, yoğun elektronik ekipmanlar ve kablo altyapısı kısa sürede tasarım değerini aşabilir. Bu nedenle saha sayımı, kullanıcı beyanı ve uzun dönemli kullanım senaryoları birlikte değerlendirilmelidir. Saha sayımının yapılamadığı durumlarda, standartlardan seçilen karakteristik yangın yükü değerinin mühendislik gerekçesi rapor metninde açıkça belirtilmelidir.

Bu çalışmada örnek kompartıman, ofis kullanımı temsil edecek şekilde 12 m × 8 m × 3,2 m boyutlarında tanımlanmıştır. Taban alanı 96 m², toplam iç yüzey alanı ise (taban, tavan ve duvarlar dahil) yaklaşık 326 m² olarak alınmıştır. Temel yangın yükü yoğunluğu 420 MJ/m², yüksek kullanım senaryosu 570 MJ/m², yoğun depolama senaryosu ise 720 MJ/m² olarak seçilmiştir. Açıklık alanı, eşdeğer açıklık yüksekliği ve sınır elemanlarının ısıl ataleti değişkenleri ile kombinasyonlar oluşturularak toplam dokuz parametrik senaryo incelenmiştir.

Parametrik düşüncenin mühendislik tasarımı açısından en büyük değeri, yangın yükü hesabının tek satırlık bir statik değerle kapanmamasıdır. Tasarımcı; yangın yükündeki artışın tepe gaz sıcaklığını mı, soğuma evresinin süresini mi, yoksa taşıyıcı çelik veya betonarme elemanın kritik sıcaklığa ulaşma zamanını mı daha fazla etkilediğini analiz etmelidir. Bu yaklaşım, yangın güvenliği önlemlerinin rasyonel seçilmesine olanak tanır: Bazı mimari kurgularda açıklık düzenlemesi ve duman tahliyesi, bazı durumlarda işletme içi yangın yükü yönetimi, bazı durumlarda ise taşıyıcı eleman pasif koruma kalınlığı tasarımın ana belirleyicisi olmaktadır.

Yangın yükü hesabında belirsizliklerin yönetilebilmesi amacıyla raporlama süreci üç düzeyde ele alınabilir. İlk düzeyde kullanılan malzeme grupları ve bunlara ait alt ısıl değerler belirtilmelidir. İkinci düzeyde her malzeme grubu için kütle tahmini ile yangına katılım katsayısı tanımlanmalıdır. Üçüncü düzeyde ise karakteristik veya tasarım yangın yükü değerinin hangi güvenilirlik yaklaşımına göre belirlendiği açıklanmalıdır. Bu aşamaların ayrı ayrı raporlanması, hesaplama sürecinin izlenebilirliğini artırmakta ve olası tasarım hatalarının hangi varsayımdan kaynaklandığının belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Örnek kompartıman için yangın yükü hesabında kullanılan temsili envanter Tablo 1'de verilmiştir.

Malzeme grubu	Kütle (kg)	Alt ısıl değer (MJ/kg)	Katılım katsayısı	Enerji (MJ)
Ahşap mobilya	1150	17,5	0,80	16100
Kağıt ve arşiv	820	16,0	1,00	13120
Plastik ekipman	160	30,0	0,80	3840
Kablo ve küçük ekipman	90	25,0	0,80	1800
Ahşap kaplama / sabit eleman	450	17,0	0,80	6120
Toplam				40980

Tablo 1. Örnek ofis kompartımanı için temsili yangın yükü envanteri.

Tablo 1'de hesaplanan toplam enerji, 96 m² taban alanına bölündüğünde yaklaşık 427 MJ/m² yangın yükü elde edilmektedir. Bu değer, temel senaryo için kabul edilen 420 MJ/m² değeriyle uyumludur. Aynı kompartıman geometrisi korunarak oluşturulan yüksek kullanım ve yoğun depolama senaryolarında ise arşiv malzemesi, hareketli depolama sistemleri ve yanıcı ekipman miktarının arttığı varsayılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde parametrik analiz, farklı işletme koşullarını temsil eden gerçekçi yangın yükü senaryoları üzerinden gerçekleştirilmiştir.

DOĞAL YANGIN VE BASİT MODELLEME YAKLAŞIMI

Doğal yangın modelleri, kompartıman yangınlarının büyüme, tam gelişmiş yanma ve soğuma evrelerini; havalandırma koşulları ile sınır elemanlarının ısıl özelliklerini dikkate alarak fiziksel temelde açıklayan yaklaşımlardır [25, 26]. Eurocode parametrik yangın eğrileri bu davranışı ampirik bağıntılarla temsil ederken [27], basitleştirilmiş tek bölgeli ve iki bölgeli kompartıman modelleri; üst sıcak gaz tabakası ile alt bölge arasındaki etkileşimi, açıklıklardan gerçekleşen kütle transferini ve sınır yüzeyleriyle olan ısı alışverişini birlikte değerlendirmektedir [28, 29].

Basitleştirilmiş kompartıman modellerinin yapısal yangın mühendisliğinde en önemli avantajlarından biri, kısa hesaplama süreleriyle farklı tasarım senaryolarının hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modelleri mekân ve zamana bağlı ayrıntılı akış alanlarını çözümleyebilse de [30, 31], yangın yükü, açıklık geometrisi veya havalandırma koşullarındaki belirsizliklerin ön değerlendirilmesinde basitleştirilmiş modeller pratik ve yaygın olarak kullanılan bir mühendislik yaklaşımıdır [32–34]. Bununla birlikte, bu modellerden elde edilen sonuçlar, kullanılan model kabulleri ve kompartıman koşulları çerçevesinde değerlendirilmelidir [35, 36].

Basitleştirilmiş hesaplarda açıklık geometrisi, yangın gelişimini etkileyen temel parametrelerden biridir. Toplam açıklık alanının (A_v) yanı sıra eşdeğer açıklık yüksekliği (h_eq) de kompartıman içindeki hava akışını ve sıcak gazların tahliyesini önemli ölçüde etkilemektedir. Aynı açıklık alanına sahip farklı geometriler, kompartıman içerisinde farklı kütle akış hızları ve buna bağlı olarak farklı sıcaklık-zaman eğrileri oluşturabilmektedir. Bu nedenle yangın hesabına ilişkin raporlarda yalnızca toplam açıklık alanının değil, eşdeğer açıklık yüksekliğinin de belirtilmesi önerilmektedir.

Sınır elemanlarının ısıl ataleti ($b = \sqrt{k \cdot \rho \cdot c}$), yangının farklı evrelerinde kompartımanın ısıl davranışını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Isıl ataleti düşük malzemeler, yüzey sıcaklığının daha hızlı yükselmesine neden olarak erken evrede daha yüksek gaz sıcaklıklarının oluşmasına katkı sağlayabilir. Buna karşılık, ısıl ataleti yüksek betonarme gibi kütlesel yapı elemanları önemli miktarda ısı depolayarak tam gelişmiş yangın evresindeki tepe gaz sıcaklığını sınırlayabilir. Ancak depolanan bu ısının soğuma evresinde tekrar ortama aktarılması nedeniyle yüksek sıcaklık etkisi daha uzun süre devam edebilmektedir. Bu nedenle yapısal değerlendirmelerde yalnızca maksimum sıcaklık değerinin değil, sıcaklığın zamana bağlı değişiminin ve toplam ısıl maruziyetin de dikkate alınması önem taşımaktadır.

Kütlesel ahşap yapılar, geniş açıklıklı kompartımanlar ve seyahat eden yangınlar, basitleştirilmiş kompartıman modellerinin uygulanmasında özel değerlendirme gerektiren durumlar arasında yer almaktadır. Ahşap yapı elemanlarının yanma sürecine doğrudan katılması, kömürleşme, delaminasyon ve kendiliğinden sönme gibi davranışlar, yangın yükünün yalnızca taşınabilir yanıcı malzemelerden oluşmadığını göstermektedir [37–40]. Benzer şekilde, büyük hacimli kompartımanlarda yangının tüm alana eş zamanlı olarak yayılmak yerine bölgesel biçimde ilerleyebildiği bilinmektedir [41–43]. Bu tür durumlarda tek bölgeli ve üniform sıcaklık varsayımına dayanan modeller, özellikle belirli taşıyıcı elemanların maruz kaldığı sıcaklıkların belirlenmesinde yetersiz kalabilmektedir [44–46].

Yapısal yangın güvenliği çalışmalarında hesaplama süreci genel olarak iki aşamada değerlendirilebilir. İlk aşamada yangın yükü envanteri oluşturularak basitleştirilmiş parametrik yangın modelleri yardımıyla farklı yangın senaryoları ve bunlara ait sıcaklık-zaman eğrileri belirlenmektedir. İkinci aşamada ise elde edilen bu yangın etkileri altında kritik taşıyıcı elemanların ısı transferi ve mekanik davranış analizleri gerçekleştirilmektedir. Büyük açıklıklı kompartımanlar, kütlesel ahşap yapılar veya yerel alev etkisinin önemli olduğu tasarımlarda ise bu analizlerin seyahat eden yangın veya yerel yangın modelleriyle desteklenmesi önerilmektedir [41, 47–49].

Doğal yangın modellerinin değerlendirilmesinde tepe gaz sıcaklığı (T_{max}) önemli bir gösterge olmakla birlikte, yapısal performansın belirlenmesi açısından tek başına yeterli değildir. Taşıyıcı elemanların ulaştığı iç sıcaklık; gaz sıcaklığının yanı sıra konveksiyon ve ışınım yoluyla gerçekleşen ısı transferine, kesit faktörüne (A_m/V), pasif yangın koruma sistemlerinin özelliklerine ve bağlantı detaylarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kompartıman gaz sıcaklık eğrileri, yapısal yangın analizlerinde kullanılan temel girdi verileri olarak değerlendirilmelidir.

Soğuma evresi de yapısal performansın değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli aşamalardan biridir. Isıl ataleti yüksek veya kesit kütlesi büyük yapı elemanlarında maksimum iç sıcaklık, gaz sıcaklığı azalmaya başladıktan sonra da oluşabilmektedir. Betonarme elemanlarda geç evre sıcaklık gradyanları kabuk atmalarına, çelik taşıyıcı sistemlerde ise soğuma sırasında meydana gelen büzülmeler bağlantılarda ilave çekme kuvvetlerine neden olabilmektedir. Ahşap elemanlarda ise kömürleşme sürecinin bir süre daha devam etmesi kesit kaybını artırabilmektedir. Bu nedenle performansa dayalı yangın tasarımında yalnızca maksimum sıcaklık değerinin değil, kritik sıcaklık seviyelerinin üzerinde geçirilen sürenin de değerlendirilmesi önerilmektedir.

STANDARTLAR VE UYGULAMA YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yangın yükü hesabı, farklı standartlar ve yönetmeliklerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımını benimseyen düzenlemelerde yangın yükü, tasarım yangınının belirlenmesinde temel girdilerden biri olarak değerlendirilirken; preskriptif (kural esaslı) yaklaşımlarda bina kullanım sınıfı, yapı yüksekliği ve yangın dayanım süreleri (R30, R60, R90) esas alınarak güvenlik koşulları tanımlanmaktadır. Bu nedenle, mühendislik çalışmalarında tercih edilen tasarım yaklaşımının dayandığı esasların ve kullanılan yöntemin açık bir şekilde belirtilmesi önem taşımaktadır.

Eurocode yaklaşımı (EN 1991-1-2), yapıların yangına maruz kalması durumunda oluşabilecek etkilerin değerlendirilmesine yönelik farklı tasarım senaryoları sunmaktadır [50]. Betonarme (EN 1992-1-2) [51], çelik (EN 1993-1-2) [52] ve kompozit yapılar (EN 1994-1-2) [53] için yayımlanan ilgili Eurocode standartlarında, standart yangın eğrilerinin yanı sıra doğal parametrik yangın modellerinin kullanımına ilişkin esaslar tanımlanmıştır. Bu yaklaşımda yangın yükü yoğunluğu (q_fd), açıklık faktörü (O) ve sınır elemanlarının ısıl ataleti (b), parametrik sıcaklık-zaman eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan temel parametreler arasında yer almaktadır [11, 50].

Standart yangın deneylerine dayanan uygulamalarda (ISO 834 [54] ve ASTM E119 [55]), yapı elemanları önceden tanımlanmış standart sıcaklık-zaman eğrilerine maruz bırakılarak yangın dayanımları belirlenmektedir. Bu deneyler farklı laboratuvarlarda karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmesine ve yapı elemanlarının yangın dayanım sınıflarının standart bir yöntemle değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, standart yangın eğrileri gerçek kompartıman yangınlarında görülen sınırlı yakıt miktarı, havalandırma koşulları ve soğuma evresi gibi etkileri tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle standart yangın deneyleri, yapı elemanlarının yangın dayanımının belirlenmesinde temel bir yöntem olmakla birlikte, performansa dayalı yapısal yangın analizlerinde doğal yangın modelleriyle birlikte değerlendirilmektedir.

Amerikan yangın mühendisliği yaklaşımında ise NFPA ve SFPE dokümanları [56], yangın yükü envanteri, tasarım yangını seçimi, zamana bağlı ısı salım hızı (HRR), duman kontrolü ve yapısal davranış arasındaki ilişkinin analitik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım özellikle endüstriyel tesisler, yüksek depolama yoğunluğuna sahip yapılar, atriumlar ve karmaşık bina geometrileri gibi performansa dayalı analiz gerektiren projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'de yürürlükte bulunan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) [57] ise büyük ölçüde kullanım sınıfı, bina yüksekliği, kaçış yolları ve yangın dayanım sürelerine ilişkin preskriptif hükümler içermektedir. Yangın yükü hesapları ise özellikle performansa dayalı tasarım uygulamalarında, eşdeğerlik değerlendirmelerinde ve özel mühendislik analizleri gerektiren projelerde tamamlayıcı bir hesap yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Yaklaşım / Standart	Yangın Yükünün Rolü	Güçlü Yönleri	Temel Sınırlılıkları	En Uygun Kullanım Alanı
Eurocode / Doğal Yangın (EN 1991-1-2)	q_{fd}, açıklık ve ısıl atalet doğrudan sıcaklık-zaman eğrisini üretir	Senaryo temellidir; gerçekçi ısı dengesi ve soğuma evresi sunar	Parametrik formüllerin geometri ve havalandırma geçerlilik sınırları vardır	Performansa dayalı yapısal yangın mühendisliği tasarımı
Standart Yangın Deneyi (ISO 834 / ASTM E119)	Doğrudan hesaplanmaz; tehlike sınıfı üzerinden süre olarak temsil edilir	Karşılaştırılabilir, standart, denetimi ve hukuki kabulü kolaydır	Gerçek yangın yükü tükenmesini ve soğuma fazındaki gerilmeleri göstermez	Yapı elemanları ve pasif koruma ürünlerinin sınıflandırılması
NFPA / SFPE Mühendisliği	Tasarım yangını, HRR ve duman üretimi için temel girdi verisidir	Maksimum esneklik, fiziksel gerçeklik ve bütüncül güvenlik sağlar	Yüksek veri kalitesi, ileri yazılım donanımı ve uzman yorumu gerektirir	Alternatif tasarımlar, endüstriyel tesisler ve özel anıtsal yapılar
Türkiye Preskriptif Rejimi (BYKHY)	Kullanım tehlike sınıfını belirler; dayanım süresini destekler	Uygulaması pratik, ruhsatlandırma süreçleri ve denetimi hızlıdır	Proje özelindeki mimari esnekliği ve anlık yük değişimlerini yansıtmaz	Konutlar, ofisler ve rutin kurala dayalı ruhsat tasarımları

Tablo 2. Yangın yükü hesabının farklı standart ve uygulama yaklaşımlarındaki yeri.

Bu karşılaştırma, söz konusu yöntemlerin birbirinin dışlayıcı alternatifi olmak zorunda olmadığını ortaya koymaktadır. Konut veya standart bir ofis binasında preskriptif yangın dayanım sınıfları yeterli güvenlik seviyesi sağlayabilir; ancak yangın yükü yüksek, mimari açıklıkları geniş veya taşıyıcı sistemi sıcaklık artışına çok duyarlı bir yapıda temel yangın mühendisliği hesapları tasarımın güvenilirliğini tahkim eder. Nitelikli bir yapısal yangın güvenliği tasarımında standart eleman dayanımı, parametrik doğal yangın etkisi ve bölgesel yerel yangın kontrolleri bütüncül bir perspektifle birlikte incelenmelidir.

TEMEL HESAP UYGULAMASI VE PARAMETRİK DEĞERLENDİRME

Karmaşık sayısal modellere başvurmadan yangın yükü hesabının yapısal tasarım sürecine nasıl dâhil edilebileceğini göstermek amacıyla üç aşamalı bir hesaplama yaklaşımı benimsenmiştir. İlk aşamada kompartımanda bulunan yanıcı malzemelerin toplam potansiyel ısıl enerjisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} (M_i \cdot H_i \cdot \psi_i) \tag{2}$$

İkinci aşamada toplam enerji, kompartımanın net taban alanına bölünerek tasarım yangın yükü yoğunluğu elde edilmektedir:

$$q_{fd} = \frac{Q}{A_f} \tag{3}$$

Üçüncü aşamada ise kompartımanın havalandırma kapasitesini temsil eden açıklık faktörü geometrik özellikler dikkate alınarak hesaplanmaktadır:

$$O = A_v \cdot \frac{\sqrt{h_{eq}}}{A_t} \tag{4}$$

Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen yangın yükü yoğunluğu ve açıklık faktörü, kompartımanın yangın davranışının değerlendirilmesinde kullanılan temel parametreleri oluşturmaktadır. Bu parametreler, yangın yükü ile havalandırma koşullarının doğal yangın gelişimine olan etkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Örnek ofis kompartımanı için temel yangın yükü yoğunluğu 420 MJ/m² olarak kabul edilmiş olup bu değer Tablo 1'de verilen temsili envanter ile uyumludur. Farklı kullanım koşullarının etkisini değerlendirebilmek amacıyla yangın yükü yoğunluğu 300, 570 ve 720 MJ/m² olacak şekilde ilave senaryolar oluşturulmuştur. Ayrıca havalandırma koşullarının etkisini incelemek amacıyla pencere alanı ve eşdeğer açıklık yüksekliği değerlerinde değişiklikler yapılarak farklı açıklık faktörleri elde edilmiştir.

Parametrik değerlendirmede amaç, belirli bir kompartıman için kesin bir tepe gaz sıcaklığı tahmin etmekten ziyade, temel tasarım parametrelerinin yangın davranışı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Yangın yükü yoğunluğunun artması, kompartımanda açığa çıkan toplam enerjiyi artırarak yanma süresinin ve yüksek sıcaklık maruziyetinin uzamasına neden olmaktadır. Buna karşılık açıklık faktörünün artması, yanma için gerekli oksijenin kompartımana daha kolay ulaşmasını sağlayarak ısı salım hızını artırmakta ve daha yüksek tepe gaz sıcaklıklarının oluşmasına yol açabilmektedir. Ancak bu durumda aynı yangın yükü daha kısa sürede tüketildiğinden yangının gelişim süreci de değişmektedir. Sınır elemanlarının ısıl ataleti de kompartımanın sıcaklık-zaman davranışını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Isıl ataleti yüksek yapı elemanları yangının erken evresinde daha fazla ısı depolarken, soğuma evresinde depoladıkları ısıyı ortama geri vererek yüksek sıcaklık etkisinin daha uzun süre devam etmesine neden olabilmektedir.

Senaryo Kodu	Senaryo Tanımı ve Gerekçesi	Açıklık Alanı Av (m^2)	Açıklık Faktörü O (m0,5)	Isıl Ataleti b (J/m2s0,5K)	Yangın Yükü qfd (MJ/m^2)	Yangın Büyüme Hızı
S0	Temel ofis kullanımı (Referans senaryo)	10,8	0,044	1160	420	Orta
S1	Yüksek yangın yükü (Yoğun ofis / hareketli yük)	10,8	0,044	1160	570	Orta
S2	Çok yüksek yangın yükü (Arşiv ve depolama odası)	10,8	0,044	1160	720	Orta
S3	Düşük açıklık (Havalandırma kontrollü rejim)	7,2	0,029	1160	570	Orta
S4	Yüksek açıklık (Yakıt kontrollü rejim / geniş pencere)	18,0	0,074	1160	570	Orta
S5	Düşük ısıl atalet (Hafif yalıtımlı / alçıpan bölme)	10,8	0,044	720	570	Orta
S6	Yüksek ısıl atalet (Ağır betonarme / kütlesel sınır)	10,8	0,044	1500	570	Orta
S7	Hızlı büyüme (Plastik veya parlayıcı sıvı ağırlıklı)	10,8	0,044	1160	570	Hızlı
S8	Kontrol senaryosu (Düşük yangın yükü / yalın ofis)	10,8	0,044	1160	300	Orta

Tablo 3. Temel yangın yükü hesabı için örnek parametrik senaryo matrisi.

Senaryo matrisi, yangın yükü, havalandırma koşulları ve kompartıman sınır özelliklerinin yapısal yangın davranışı üzerindeki etkilerini ayrı ayrı değerlendirebilecek şekilde oluşturulmuştur. S0 referans senaryosunu temsil ederken, S1 ve S2 senaryolarında yangın yükü yoğunluğundaki değişimin etkisi incelenmiştir. S3 ve S4 senaryoları havalandırma koşullarındaki değişiklikleri, S5 ve S6 senaryoları ise farklı yapı malzemelerinin ısıl özelliklerinin etkisini değerlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. S7 senaryosunda ise yanma hızındaki değişimin kompartıman yangını üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Bu senaryo yaklaşımı, farklı tasarım parametrelerinin yangın davranışı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

ÖRNEK PARAMETRİK DEĞERLENDİRME

Parametrik hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular, yangın yükü ve havalandırma koşullarındaki değişimlerin kompartıman yangını davranışı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Yapılan değerlendirmede yalnızca kompartıman gaz sıcaklığı dikkate alınmamış; aynı zamanda bu değişkenlerin taşıyıcı sistemin ısıl davranışı ve pasif yangın koruma gereksinimleri üzerindeki olası etkileri de incelenmiştir.

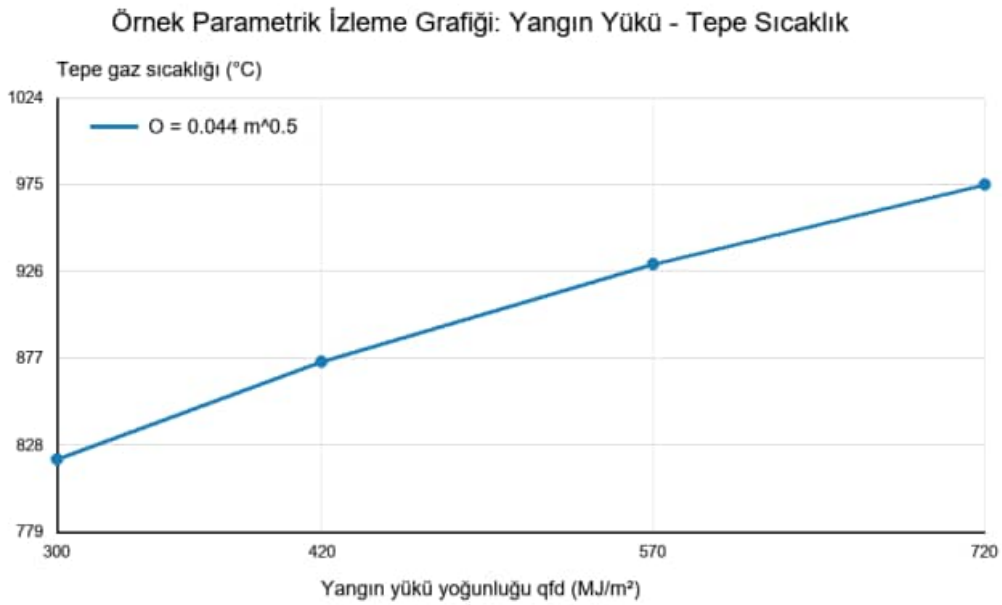
Yangın yükü yoğunluğunun 300 MJ/m^2 seviyesinden 720 MJ/m^2 seviyesine çıkarılması, kompartımanda açığa çıkan toplam enerji miktarını artırmakta ve buna bağlı olarak tam gelişmiş yanma ile soğuma evrelerinin daha uzun sürmesine neden olmaktadır. Parametrik analizlerde tepe gaz sıcaklığında da artış gözlenmekle birlikte, yapısal yangın güvenliği açısından yüksek sıcaklık maruziyet süresi de önemli bir değerlendirme ölçütüdür. Çelik ve betonarme taşıyıcı elemanların ulaştığı iç sıcaklık; gaz sıcaklığının yanı sıra maruz kalınan ısı akısı süresine, elemanın kesit faktörüne (A_m/V), kullanılan pasif yangın koruma malzemesinin ısıl özelliklerine ve bağlantı detaylarının davranışına bağlı olarak değişmektedir [58–61]. Bu nedenle yangın yükündeki artış, taşıyıcı sistemin yangın performansının yeniden değerlendirilmesini ve gerekli durumlarda pasif yangın koruma önlemlerinin gözden geçirilmesini gerektirebilmektedir.

Açıklık faktörünün artması (O = 0,029'dan 0,074 $m^{0,5}$'e çıkması), kompartımana giren hava miktarını artırarak yangın gelişimini etkilemektedir. Bu durumda yanma hızı ve tepe gaz sıcaklığı artabilmekte, ancak aynı miktardaki yanıcı malzeme daha kısa sürede tüketilebilmektedir. Dolayısıyla açıklık alanındaki artışın yangın şiddeti üzerindeki etkisi, yalnızca tepe sıcaklığı üzerinden değil, yangının süresi ve sıcaklık-zaman davranışı birlikte değerlendirilerek yorumlanmalıdır. Isıl ataleti yüksek ve kesit kütlesi büyük taşıyıcı elemanlar, kısa süreli yüksek sıcaklık etkilerine karşı daha dirençli davranabilmekte; buna karşılık uzun süre

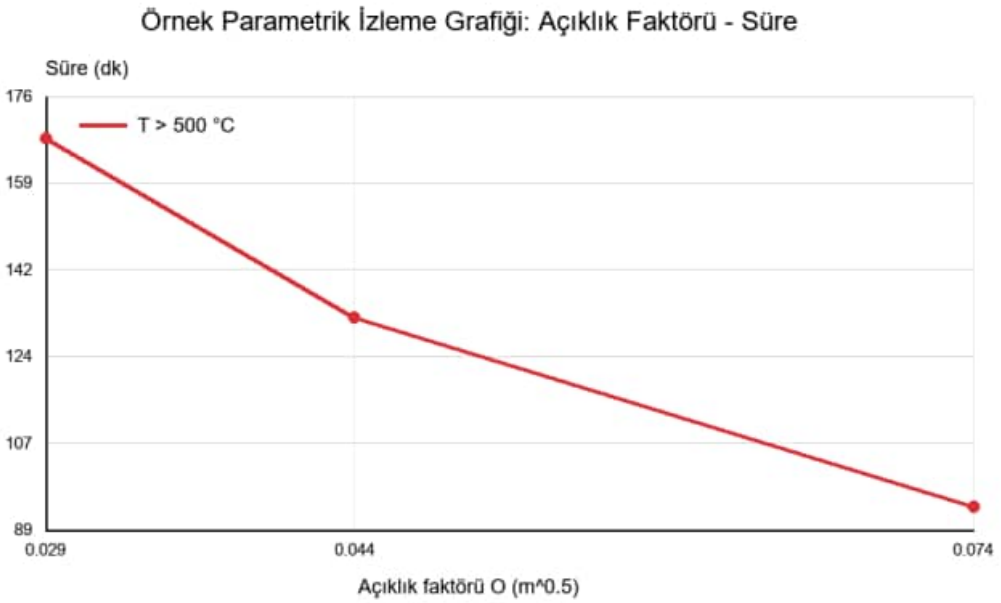
devam eden yangınlarda iç sıcaklıkların zamanla artması nedeniyle taşıma kapasitelerinde önemli azalmalar meydana gelebilmektedir [62–65]. Bu nedenle yapısal yangın güvenliği değerlendirmelerinde, kompartıman gaz sıcaklık eğrilerinin taşıyıcı elemanların zamana bağlı ısıl tepkisi ile birlikte ele alınması uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Parametrik Değişken	Düşük Değer Senaryosu	Referans (Temel) Değer	Yüksek Değer Senaryosu	Beklenen Yapısal Mühendislik Etkisi
Yangın Yükü (q_{fd})	300 MJ/m²	420 - 570 MJ/m²	720 MJ/m²	Toplam enerji maruziyeti artar; tam gelişmiş yanma ve soğuma evresi uzar. Pasif koruma kalınlığı ihtiyacı artar.
Açıklık Faktörü (O)	0,029 $m^{0,5}$	0,044 $m^{0,5}$	0,074 $m^{0,5}$	Tepe gaz sıcaklığı artar ancak yangın süresi kısalır. Kalın kütlesel elemanlar için riski azaltabilirken, ince cidar çelikler için riski artırır.
Isıl Ataleti (b)	720 J/m² $s^{0,5}$K	1160 J/m² $s^{0,5}$K	1500 J/m² $s^{0,5}$K	Düşük ısıl atalet ani erken ısınmaya yol açar; yüksek ısıl atalet ise ısıyı depolayıp soğuma fazında geri yayarak ısıl gerilmeleri uzatır.
Büyüme Hızı	Yavaş / Orta	Orta	Hızlı	Flashover (tam yanmaya geçiş) süresi kısalır; aktif müdahale sistemleri ve kaçış için kritik süre azalır.

Tablo 4. Parametrik değişkenlerin sonuçlara beklenen etkisi.



Şekil 1. Temel hesap yaklaşımını göstermek için hazırlanmış yangın yükü-tepe sıcaklık izleme grafiği.



Şekil 2. Temel hesap yaklaşımını göstermek için hazırlanmış açıklık faktörü-süre izleme grafiği.

TARTIŞMA

Yangın yükü hesabı, performansa dayalı yapısal yangın tasarımının temel bileşenlerinden biridir. Taşıyıcı sistemlerin yangın performansı yalnızca yapı malzemelerinin mekanik özelliklerine veya uygulanan pasif yangın koruma sistemlerine bağlı değildir. Kompartımanda açığa çıkacak toplam ısı enerjisi, yangının süresi ve gelişim biçimi de yapı elemanlarının maruz kalacağı sıcaklık-zaman davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, yangın yükünün doğru belirlenmesi ve hesaplamalarda kullanılan varsayımların açık biçimde ortaya konulması, güvenilir yapısal yangın analizleri açısından önem taşımaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar da farklı ölçeklerde gerçekleştirilen deneysel ve sayısal araştırmalarda, giriş verilerinin ve senaryo kabullerinin ayrıntılı olarak raporlanmasının sonuçların güvenilirliği açısından önemli olduğunu göstermektedir [66, 67].

Bu çalışmada oluşturulan parametrik senaryolar, yangın yükü, havalandırma koşulları ve kompartıman özelliklerindeki değişimlerin doğal yangın davranışı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye olanak sağlamıştır. Yangın yükü yoğunluğunun artmasıyla birlikte kompartımanda açığa çıkan toplam enerji miktarının arttığı, buna bağlı olarak tam gelişmiş yanma ve soğuma evrelerinin uzadığı görülmüştür. Bu durum, özellikle taşıyıcı elemanların yüksek sıcaklığa maruz kalma sürelerini artırarak yapısal performansı etkileyebilmektedir. Dolayısıyla yangın güvenliği değerlendirmelerinde yalnızca tepe gaz sıcaklığının değil, sıcaklık-zaman eğrisinin tamamının dikkate alınması gerekmektedir.

Havalandırma koşullarındaki değişimler de yangın gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Açıklık faktörünün artması, kompartımana giren hava miktarını artırarak yanma hızını ve tepe gaz sıcaklığını yükseltebilmekte; buna karşılık mevcut yangın yükünün daha kısa sürede tüketilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle açıklık geometrisinin etkisi değerlendirilirken yalnızca maksimum sıcaklık değerleri değil, yangının süresi ve sıcaklık-zaman davranışı birlikte ele alınmalıdır.

Çalışmada kullanılan basitleştirilmiş parametrik yaklaşım, kompartıman yangınının genel davranışını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yangına katılım katsayısı, envanterin kompartıman içerisindeki dağılımı ve havalandırma koşulları gibi değişkenlerin sonuçlar üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle hesaplamalarda kullanılan varsayımların ve giriş verilerinin açık biçimde raporlanması, elde edilen sonuçların yorumlanabilirliğini ve farklı çalışmalarla karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır.

Yerel yangınlar ise kompartımanın ortalama gaz sıcaklığından farklı davranışlar oluşturabilmektedir. Özellikle yüksek ısı salım hızına sahip yanıcı malzemelerin taşıyıcı elemanlara yakın konumlandığı durumlarda, yerel ışınım etkileri belirli yapı elemanlarının ortalama kompartıman sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara

maruz kalmasına neden olabilmektedir [68–70]. Bu nedenle otoparklar, yüksek raflı depolar, atriumlar ve geniş hacimli yapılarda yerel yangın senaryolarının ayrıca değerlendirilmesi önerilmektedir [71, 72].

Farklı taşıyıcı sistemler doğal yangın koşullarına farklı tepkiler vermektedir. Çelik yapılarda kesit faktörü (A_m/V) ve pasif yangın koruma sistemlerinin performansı belirleyici olurken [73, 74], betonarme elemanlarda pas payı kalınlığı, donatı düzeni ve yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek kabuk atması davranışı önem kazanmaktadır [75, 76]. Kütlesel ahşap yapılarda ise kömürleşme davranışı, koruyucu kaplamaların performansı ve tabakalı elemanların davranışı tasarımın önemli bileşenleri arasında yer almaktadır [77, 78]. Bu nedenle aynı yangın senaryosu altında farklı taşıyıcı sistemlerin performansı, malzemelerin kendilerine özgü davranışları dikkate alınarak değerlendirilmelidir [79, 80].

Bu çalışmada sunulan hesaplama yaklaşımı, yangın yükü hesabının yapısal yangın mühendisliği sürecindeki etkilerini göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Basitleştirilmiş parametrik değerlendirme yöntemi, farklı tasarım senaryolarının kısa sürede karşılaştırılmasına olanak sağlamakta ve yangın yükü ile havalandırma koşullarındaki değişimlerin kompartıman yangını üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, büyük açıklıklı yapılar, karmaşık geometriler, kütlesel ahşap yapılar veya yerel yangın etkilerinin belirleyici olduğu projelerde daha ayrıntılı doğal yangın modelleri veya hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleriyle sonuçların desteklenmesi uygun olacaktır.

Sonuçların güvenilirliği açısından, yangın yükü hesabında kullanılan envanter verileri, yanma katsayıları, açıklık geometrisi, sınır elemanlarının özellikleri ve diğer model kabullerinin açık biçimde raporlanması önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, hesaplama sürecinin izlenebilirliğini artırmakta ve elde edilen sonuçların farklı çalışmalarla karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

SINIRLILIKLAR VE UYGULAMA NOTLARI

Bu çalışmada kullanılan örnek kompartıman geometrisi (96 m² taban alanı ve 326 m² iç yüzey alanı) ile yanıcı malzeme envanteri, parametrik yangın yükü hesaplama yönteminin uygulanışını göstermek amacıyla oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan değerler örnek bir senaryoyu temsil etmekte olup, gerçek bir yapı projesine ait tasarım verileri olarak değerlendirilmemelidir. Proje bazlı uygulamalarda yangın yükü hesabının; saha envanteri, mimari projedeki açıklık geometrisi, yapı kullanım amacı ve aktif yangın güvenlik sistemlerine ilişkin güncel veriler kullanılarak yeniden yapılması gerekmektedir.

Yangın yükü, özellikle kullanım şekli zaman içinde değişebilen ticari, endüstriyel ve lojistik yapılarda dinamik bir tasarım parametresidir. Depolama yoğunluğu, kullanıcı profili ve kullanım amacı gibi değişkenler yangın yükünü doğrudan etkileyebileceğinden, proje süresince güncel envanter bilgilerinin dikkate alınması ve gerektiğinde hesaplamaların yeniden değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Bu çalışmada kullanılan basitleştirilmiş parametrik yaklaşım, kompartıman yangınlarının genel davranışını değerlendirmeye yönelik kabullere dayanmaktadır. Model; homojen gaz sıcaklığı, enerji dengesi ve kompartıman tabakalaşmasına ilişkin varsayımların geçerli olduğu durumlarda uygulanabilir sonuçlar vermektedir. Buna karşılık büyük açıklıklı yapılar, karmaşık geometrili hacimler, güçlü mekanik havalandırma sistemlerinin bulunduğu yapılar veya yerel yangın etkilerinin belirleyici olduğu durumlarda daha ayrıntılı analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu tür projelerde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), seyahat eden yangın modelleri veya yerel yangın analizleri gibi gelişmiş yöntemlerle elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

Performansa dayalı yapısal yangın tasarımında kullanılacak hesap yönteminin, ilgili standart ve yönetmeliklerle uyumlu olması önem taşımaktadır. Bu kapsamda tasarım girdilerinin güncel saha verileri ile desteklenmesi ve kullanılan hesap yöntemlerinin proje özelliklerine uygun olarak seçilmesi, elde edilen sonuçların güvenilirliğini artıracaktır. Ayrıca hesap sürecinde kullanılan kabuller, malzeme özellikleri, yangın yükü envanteri, açıklık geometrisi ve diğer model parametrelerinin açık biçimde raporlanması, hesaplamaların izlenebilirliği ve farklı çalışmalarla karşılaştırılabilirliği açısından önemlidir.

Bu çalışmada sunulan parametrik değerlendirme yöntemi, yangın yükü ile havalandırma koşullarının kompartıman yangını üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Yaklaşım,

tasarım sürecinin erken aşamalarında farklı senaryoların hızlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamakta; proje özelindeki ayrıntılı analizler için ise başlangıç niteliğinde bir mühendislik değerlendirmesi sunmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, yangın yükü hesaplamalarının yapısal yangın güvenliği açısından tasarım sürecinin temel bileşenlerinden biri olduğu ortaya konulmuştur. Yangın yükü yoğunluğu (q_fd), yanıcı malzemelerin kütleleri, alt ısıl değerleri ve yangına katılım katsayıları kullanılarak hesaplanmakta; ancak bu değerin doğru yorumlanabilmesi için kompartımanın havalandırma koşulları, sınır elemanlarının ısıl özellikleri ve taşıyıcı sistemin yangına verdiği tepki ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Örnek ofis kompartımanı üzerinde gerçekleştirilen parametrik analizler, yangın yükü yoğunluğunun artmasının yalnızca tepe gaz sıcaklığını değil, aynı zamanda yüksek sıcaklık maruziyet süresini ve yangının zamana bağlı gelişimini de etkilediğini göstermiştir. Benzer şekilde, açıklık faktöründeki değişimlerin kompartımanın havalandırma koşullarını değiştirerek yangının gelişim süreci üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, yangın yükü hesaplarının yalnızca tek bir tasarım değeri olarak değil, hesaplamada kullanılan envanter, havalandırma koşulları ve kullanım senaryoları ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

İncelenen standart ve yönetmelikler, yangın güvenliğinin farklı tasarım yaklaşımlarıyla ele alınabileceğini göstermektedir. Preskriptif yaklaşımlar birçok yapı türü için uygulanabilir ve standartlaştırılmış çözümler sunarken, performansa dayalı yöntemler yapıların kullanım amacı, mimari özellikleri ve yangın senaryoları dikkate alınarak daha ayrıntılı değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda yangın yükü hesabı, her iki yaklaşımda da önemli bir mühendislik girdisi olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmada kullanılan üç aşamalı hesaplama yaklaşımı; yangın yükü yoğunluğunun belirlenmesi, açıklık faktörünün hesaplanması ve kompartıman özelliklerinin birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, farklı tasarım senaryolarının karşılaştırılmasını kolaylaştırmakta ve hangi durumlarda daha ayrıntılı doğal yangın analizlerine veya gelişmiş sayısal yöntemlere ihtiyaç duyulabileceğinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Yangın yükü hesaplarının güvenilirliği açısından kullanılan envanter verileri, malzeme özellikleri, yangına katılım katsayıları, açıklık geometrisi ve diğer model kabullerinin açık biçimde raporlanması önem taşımaktadır. Hesaplama sürecinin şeffaf biçimde sunulması, sonuçların izlenebilirliğini artırmakta ve farklı çalışmalarla karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak, yangın yükü hesabı; yapısal yangın güvenliğinin değerlendirilmesinde, kompartıman davranışının analizinde ve performansa dayalı tasarım çalışmalarında temel mühendislik araçlarından biridir. Tasarım sürecinin erken aşamalarında gerçekleştirilecek sistematik yangın yükü değerlendirmeleri, farklı tasarım seçeneklerinin karşılaştırılmasına katkı sağlamakta ve gerektiğinde daha ayrıntılı yangın analizlerinin planlanmasına yardımcı olmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Sharma, P., Quintiere, J. G. (2010). Compartment Fire Temperatures. Journal of Fire Protection Engineering 20(4), 253-271. https://doi.org/10.1177/1042391510380139

[2] Rushton, M., Zalok, E. (2025). A review of experiments and modeling of large compartment fire dynamics. Journal of Structural Fire Engineering 16(3), 496-517. https://doi.org/10.1108/jsfe-05-2025-0021

[3] Byström, A., Wickström, U. (2016). INFLUENCE OF SURROUNDING BOUNDARIES ON FIRE COMPARTMENT TEMPERATURE. Applications of Structural Fire Engineering https://doi.org/10.14311/asfe.2015.061

[4] Hodges, J., Rippe, C., Case, S. W., Lattimer, B. Y. (2017). Predicting the structural response of a com-

partment fire using full-field heat transfer measurements. Fire Safety Journal 91, 471-479. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.011

[5] Li, Q., Zhang, C., Li, G. Q. (2021). Symmetric modeling of the thermal actions in a structural fire experiment on a long-span composite floor beam in a compartment. Fire Safety Journal 120, 103079. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103079

[6] Dai, X., Choe, L., Fischer, E., Clifton, G. C. (2023). Thermal and Structural Response of Beam-end Shear Connections During a Large Compartment Fire Experiment. Fire Technology 60(5), 3175-3207. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01452-1

[7] Craig, D., Naser, M. (2023). A primer and success stories on performance-based fire design of structures. Journal of Structural Fire Engineering 15(2), 228-246. https://doi.org/10.1108/jsfe-01-2023-0002

[8] Gernay, T. (2024). Performance-based design for structures in fire: Advances, challenges, and perspectives. Fire Safety Journal 142, 104036. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104036

[9] Fischer, E. C., Varma, A. H., Agarwal, A. (2019). Performance-Based Structural Fire Engineering of Steel Building Structures: Design-Basis Compartment Fires. Journal of Structural Engineering 145(9). https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002370

[10] Shrivastava, M., Abu, A., Dhakal, R., Moss, P. (2019). State-of-the-art of probabilistic performance based structural fire engineering. Journal of Structural Fire Engineering 10(2), 175-192. https://doi.org/10.1108/jsfe-02-2018-0005

[11] Hertz, K. (2011). Parametric Fires for Structural Design. Fire Technology 48(4), 807-823. https://doi.org/10.1007/s10694-011-0246-5

[12] Influence of Key Parameters on Parametric Fire Development: A Eurocode-Based Study," International Journal of Civil Engineering, vol. 12, no. 7, pp. 123-129, 2025. Crossref, https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V12I7P111

[13] Moradi, M. J., Hajiloo, H. (2026). Modeling compartment fire Heat Release Rate and temperature development: An alternative to the Eurocode parametric fire. Applied Thermal Engineering 289, 129705. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2026.129705

[14] Put, F., Lucherini, A., Merci, B., Van Coile, R. (2024). Model uncertainty in a parametric fire curve approach: A stochastic correction factor for the compartment fire load density. Fire Safety Journal 144, 104113. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104113

[15] Barnett, A., Cheng, C., Horasan, M., He, Y., Park, L. (2021). Fire Load Density Distribution in School Buildings and Statistical Modelling. Fire Technology 58(1), 503-521. https://doi.org/10.1007/s10694-021-01150-w

[16] Dundar, U., Selamet, S. (2023). Fire load and fire growth characteristics in modern high-rise buildings. Fire Safety Journal 135, 103710. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103710

[17] Jadon, S., Kumar, S. (2025). Fire Load Assessment in Office Buildings: A Comparison of Survey Results. Fire Technology 61(5), 3137-3163. https://doi.org/10.1007/s10694-025-01719-9

[18] Ding, Y., Cheung, W. K., Zhang, Y., Huang, X. (2024). Digitized fuel load survey in commercial and university office buildings for fire safety assessment. Fire Safety Journal 150, 104287. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104287

[19] Xie, Q., Xiao, J., Gardoni, P., Hu, K. (2018). Probabilistic Analysis of Building Fire Severity Based on Fire Load Density Models. Fire Technology 55(4), 1349-1375. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0716-0

[20] Spearpoint, M., Tohir, M., Abu, A., Xie, P. (2015). Fire load energy densities for risk-based design of car parking buildings. Case Studies in Fire Safety 3, 44-50. https://doi.org/10.1016/j.csfs.2015.04.001

[21] Kweon, O. S., Kim, H. Y., (2017). The Study on Compartment Fire Experiment According to Fire Load. Fire science and engineering 31(6), 16-22. https://doi.org/10.7731/kifse.2017.31.6.016

[22] Swain, S., Gopikrishna, K. (2025). Fire load assessment and thermo-mechanical analysis of RC buildings. Journal of Structural Fire Engineering 16(4), 594-617. https://doi.org/10.1108/jsfe-04-2025-0015

[23] May, R., Wang, Y., Gibson, L., Cooper-Knock, S., Walls, R., Rush, D. (2026). Informal settlement fire load density: Survey outcomes from Western Cape, South Africa. Fire Safety Journal 163, 104869. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104869

[24] Granata, M. F., Grigoraş, Z. C., Colajanni, P. (2026). Fire Load Effects on Concrete Bridges with External Post-Tensioning: Modeling and Analysis. Buildings 16(2), 430. https://doi.org/10.3390/buildings16020430

[25] Gorska, C., Hidalgo, J. P., Torero, J. L. (2021). Fire dynamics in mass timber compartments. Fire Safety Journal 120, 103098. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103098

[26] Mitchell, H., Kotsovinos, P., Richter, F., Thomson, D., Barber, D., Rein, G. (2022). Review of fire experiments in mass timber compartments: Current understanding, limitations, and research gaps. Fire and Materials 47(4), 415-432. https://doi.org/10.1002/fam.3121

[27] Pope, I., Gupta, V., Xu, H., Wiesner, F., Lange, D., Torero, J. L., Hidalgo, J. P. (2023). Fully-developed compartment fire dynamics in large-scale mass timber compartments. Fire Safety Journal 141, 104022. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104022

[28] Ali Awadallah, A. A., Hadden, R. M., Law, A. (2024). Meta-analysis of temperature, heat release rate, delamination and auto-extinction of timber compartments. Fire Safety Journal 146, 104164. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104164

[29] Girompaire, L., Dagenais, C. (2024). Fire Dynamics of Mass Timber Compartments with Exposed Surfaces: Development of an Analytical Model. Fire Technology 60(3), 1477-1501. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01528-y

[30] Nothard, S., Lange, D., Hidalgo, J. P., Gupta, V., McLaggan, M. S., Wiesner, F., Torero, J. L. (2022). Factors influencing the fire dynamics in open-plan compartments with an exposed timber ceiling. Fire Safety Journal 129, 103564. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103564

[31] Greer, J., Caponi, S., Hadden, R. M., Law, A. (2024). Ignition and flashover of reduced scale compartments with timber ceilings. Fire Safety Journal 146, 104167. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104167

[32] Stern-Gottfried, J., Rein, G. (2012). Travelling fires for structural design–Part I: Literature review. Fire Safety Journal 54, 74-85. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.003

[33] Stern-Gottfried, J., Rein, G. (2012). Travelling fires for structural design-Part II: Design methodology. Fire Safety Journal 54, 96-112. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.011

[34] Dai, X., Welch, S., Usmani, A. (2017). A critical review of “travelling fire” scenarios for performance-based structural engineering. Fire Safety Journal 91, 568-578. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.001

[35] Dai, X., Welch, S., Vassart, O., Cábová, K., Jiang, L., Maclean, J., Clifton, G. C., Usmani, A. (2020). An extended travelling fire method framework for performance-based structural design. Fire and Materials 44(3), 437-457. https://doi.org/10.1002/fam.2810

[36] Rackauskaite, E., Hamel, C., Law, A., Rein, G. (2015). Improved Formulation of Travelling Fires and Application to Concrete and Steel Structures. Structures 3, 250-260. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2015.06.001

[37] Rackauskaite, E., Kotsovinos, P., Jeffers, A., Rein, G. (2017). Structural analysis of multi-storey steel frames exposed to travelling fires and traditional design fires. Engineering Structures 150, 271-287. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.055

[38] Jiang, J., Lu, Y., Dai, X., Li, G. Q., Chen, W., Ye, J. (2021). Disproportionate collapse of steel-framed gravity buildings under travelling fires. Engineering Structures 245, 112799. https://doi.org/10.1016/j.

engstruct.2021.112799

[39] Wang, Y., Ren, Z., Huang, Z., Gao, W., Zhong, B., Bu, Y., Huang, Y., Zhang, Y., Yuan, G., Ma, S. (2021). Experimental and numerical studies of six small-scale continuous concrete slabs subjected to travelling fires. Engineering Structures 236, 112069. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112069

[40] Wang, Y., Bu, Y., Huang, Z., Gu, A., Han, G., Zhang, X., Zhang, Y., Liu, Y., Chen, Z., Guo, W. (2022). Experimental and numerical investigation on reinforced-concrete slab-beam assemblies exposed to extended and travelling fires. Engineering Structures 264, 114430. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114430

[41] Richter, F., Kotsovinos, P., Rackauskaite, E., Rein, G. (2020). Thermal Response of Timber Slabs Exposed to Travelling Fires and Traditional Design Fires. Fire Technology 57(1), 393-414. https://doi.org/10.1007/s10694-020-01000-1

[42] Gamba, A., Franssen, J. M. (2021). GoZone: A Numerical Model for Travelling Fires Based on Cellular Automata Concept. Applied Sciences 11(22), 10679. https://doi.org/10.3390/app112210679

[43] Liu, C., Ming, X. M., Dai, X., Welch, S. (2026). Exploring fire dynamics of travelling fires in large open compartments with CFD. Fire Safety Journal 162, 104663. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104663

[44] Byström, A., Wickström, U. (2017). Temperature of post-flashover compartment fires—Calculations and validation. Fire and Materials 42(3), 255-265. https://doi.org/10.1002/fam.2488

[45] Lucherini, A., Torero, J. L. (2023). Defining the fire decay and the cooling phase of post-flashover compartment fires. Fire Safety Journal 141, 103965. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103965

[46] Lucherini, A., Jovanović, B., Torero, J. L., Van Coile, R., Merci, B. (2024). Thermal characterisation of the cooling phase of post-flashover compartment fires. International Journal of Thermal Sciences 199, 108933. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.108933

[47] Moradi, M. J., Hajiloo, H. (2025). Quantitative review of experimental tests and theoretical models of flashover occurrence in compartment fires. Fire Safety Journal 155, 104432. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104432

[48] Xia, T., Ruan, H., Wang, Y. (2024). Predicting the flashover occurrence and energy distribution in compartment fires with different boundary materials. Fire Safety Journal 146, 104183. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104183

[49] Thinnakornsutibutr, N., Kuwana, K., Mizuno, M., Ushijima, T., Yazaki, S. (2024). Early warning signals of flashover in compartment fires. Fire Safety Journal 150, 104264. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104264

[50] CEN. (2002). EN 1991-1-2: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. European Committee for Standardization.

[51] CEN. (2004). EN 1992-1-2: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. European Committee for Standardization.

[52] CEN. (2005). EN 1993-1-2: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. European Committee for Standardization.

[53] CEN. (2005). EN 1994-1-2: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. European Committee for Standardization.

[54] International Organization for Standardization. (1999). ISO 834-1: Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements. ISO.

[55] ASTM International. (2024). ASTM E119-24: Standard test methods for fire tests of building construction and materials. ASTM International.

[56] Hurley, M. J., Gottuk, D. T., Hall, J. R., Harada, K., Kuligowski, E. D., Puchovsky, M., Torero, J. L., Watts, J. M., & Wieczorek, C. J. (Eds.). (2016). SFPE handbook of fire protection engineering (5th ed.). Springer.

[57] Türkiye Cumhuriyeti. (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete.

[58] Zhou, J., Zhou, X., Cong, B., Wang, W. (2023). Numerical study of the convective heat transfer coefficient for steel column surrounded by localized fires. Fire Safety Journal 141, 103987. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103987

[59] Xu, Q., Li, G. Q., Wang, Y. C. (2021). A simplified method for calculating non-uniform temperature distributions in thin-walled steel members protected by intumescent coatings under localized fires. Thin-Walled Structures 162, 107580. https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107580

[60] Jeanneret, C., Gales, J., Kotsovinos, P., Genikomsou, K. (2025). Thermo-mechanical Behaviour of Steel Beam-Column Shear Tab Connections Exposed to Localized Fires. Canadian Journal of Civil Engineering https://doi.org/10.1139/cjce-2023-0428

[61] Palit, S., Bhattacharyya, S. K., Maity, D. (2025). Reliability Assessment of Steel and Composite Beam in Localized Fire: Load and Resistance Factor Design Framework. Fire Technology 62(1). https://doi.org/10.1007/s10694-025-01830-x

[62] Lee, J., Kim, B., Lee, S., Shin, W. G. (2023). Validation of the fire dynamics simulator (FDS) model for fire scenarios with two liquid pool fires in multiple compartments. Fire Safety Journal 141, 103892. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103892

[63] McGrattan, K., Bilson, M. (2023). Modeling longitudinal ventilation in tunnels using fire dynamics simulator. Fire Safety Journal 141, 103982. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103982

[64] Betting, B., Varea, E., Gobin, C., Godard, G., Lecordier, B., Patte-Rouland, B. (2019). Experimental and numerical studies of smoke dynamics in a compartment fire. Fire Safety Journal 108, 102855. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102855

[65] Li, J., Beji, T., Brohez, S., Merci, B. (2021). Experimental and numerical study of pool fire dynamics in an air-tight compartment focusing on pressure variation. Fire Safety Journal 120, 103128. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103128

[66] Acherar, L., Wang, H. Y., Garo, J. P., Coudour, B. (2020). Impact of air intake position on fire dynamics in mechanically ventilated compartment. Fire Safety Journal 118, 103210. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103210

[67] Liu, W., Markert, F., Giuliani, L., Hostikka, S. (2024). Analyzing the gas temperature of a hydrogen jet fire in a compartment with the Fire Dynamics Simulator. International Journal of Hydrogen Energy 53, 1097-1106. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.11.306

[68] Molkens, T., Rossi, B. (2020). On the Simulation of Real Fire for Post Fire Resistance Evaluation of Steel Structures. Fire Technology 57(2), 839-871. https://doi.org/10.1007/s10694-020-01025-6

[69] Arablouei, A., Kodur, V. (2016). Effect of fire insulation delamination on structural performance of steel structures during fire following an earthquake or an explosion. Fire Safety Journal 84, 40-49. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.07.001

[70] Garg, K., Singh, S., Rokade, M., Singh, S. (2023). The Behavior of Passive Fire Protection Materials Used for Fire Protection of Steel Structures in Standard, Hydrocarbon, and Jet Fire Exposure. Fire Technology 59(5), 2517-2541. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01434-3

[71] Molkens, T., Rossi, B. (2022). The Post-fire Assessment of Steel Structures, a Reliability-Based Semi-probabilistic Approach. Fire Technology 60(5), 3019-3041. https://doi.org/10.1007/s10694-022-01293-4

[72] Gernay, T. (2019). Fire resistance and burnout resistance of reinforced concrete columns. Fire Safety Journal 104, 67-78. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.01.007

[73] Bajc, U., Kolšek, J., Planinc, I., Bratina, S. (2022). Fire resistance of RC columns with regard to spalling of concrete. Fire Safety Journal 130, 103568. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103568

[74] Rokade, M., Stratford, T., Rush, D. (2026). Fire resistance of concrete columns: Meta-analysis of code-based methods. Fire Safety Journal 161, 104626. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104626

[75] Gernay, T. (2021). Fire resistance and burnout resistance of timber columns. Fire Safety Journal 122, 103350. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103350

[76] Wiesner, F., Bisby, L. A., Bartlett, A. I., Hidalgo, J. P., Santamaria, S., Deeny, S., Hadden, R. M. (2019). Structural capacity in fire of laminated timber elements in compartments with exposed timber surfaces. Engineering Structures 179, 284-295. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.084

[77] Wiesner, F., Bisby, L. (2019). The structural capacity of laminated timber compression elements in fire: A meta-analysis. Fire Safety Journal 107, 114-125. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.04.009

[78] Wade, C., Spearpoint, M., Fleischmann, C., Baker, G., Abu, A. (2018). Predicting the Fire Dynamics of Exposed Timber Surfaces in Compartments Using a Two-Zone Model. Fire Technology 54(4), 893-920. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0714-2

[79] Perković, N., Rajčić, V., Barbalić, J. (2024). Fire Resilience of Load-Bearing Wall Made of Hollow Timber Elements. Fire 7(12), 433. https://doi.org/10.3390/fire7120433

[80] Jokinen, T., Ranua, R., Salminen, M. (2024). Holistic Performance-Based Fire Design of Steel Structures—Case Study: Sports Hall. Fire Technology 60(4), 2785-2814. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01519-z

[81] Zhang, X., Hadjisophocleous, G. (2012). An improved two-layer zone model applicable to both pre- and post-flashover fires. Fire Safety Journal 53, 63-71. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.014

[82] Chow, W. K. (2010). Fuel Load and Peak Heat Release Rate Correlations in Post-Flashover Room Fires. Heat Transfer Engineering 31(3), 250-254. https://doi.org/10.1080/01457630903304681

[83] Kowalski, W., Malendowski, M., Krasuski, A. (2025). Localized fire in probabilistic structural fire engineering – an application of the Eurocode approach. Journal of Structural Fire Engineering 17(1), 43-61. https://doi.org/10.1108/jsfe-08-2025-0039

[84] Wang, Z., Zhang, T., Huang, X. (2022). Numerical Modeling of Compartment Fires: Ventilation Characteristics and Limitation of Kawagoe's Law. Fire Technology 60(2), 1245-1268. https://doi.org/10.1007/s10694-022-01218-1

[85] Zhang, C., Silva, J. G., Weinschenk, C., Kamikawa, D., Hasemi, Y. (2015). Simulation Methodology for Coupled Fire-Structure Analysis: Modeling Localized Fire Tests on a Steel Column. Fire Technology 52(1), 239-262. https://doi.org/10.1007/s10694-015-0495-9

[86] Zhang, C., Gross, J. L., McAllister, T. P. (2013). Lateral torsional buckling of steel W-beams subjected to localized fires. Journal of Constructional Steel Research 88, 330-338. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.06.004

[87] Zhang, C., Li, G. Q., Usmani, A. (2013). Simulating the behavior of restrained steel beams to flame impingement from localized-fires. Journal of Constructional Steel Research 83, 156-165. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.02.001

[88] Zhang, C., Li, G. Q., Wang, R. (2013). Using adiabatic surface temperature for thermal calculation of steel members exposed to localized fires. International Journal of Steel Structures 13(3), 547-556. https://doi.org/10.1007/s13296-013-3013-2

KISA ÖZGEÇMİŞ

Hasan İŞCİ

Lisans eğitimini Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nde tamamlamıştır. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini "İş Kazalarının Kök Neden Analizi" başlıklı teziyle tamamlamış, doktora çalışmalarını Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde sürdürmektedir. Halen Doğuş Üniversitesi Meslek Yüksekokulu İş Sağlığı ve Güvenliği Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapan Hasan İŞCİ; iş sağlığı ve güvenliği, risk analizi, yangın güvenliği, acil durum yönetimi ve çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine akademik çalışmalar yürütmektedir. Ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde yayımlanmış bilimsel makaleleri ile kitap bölümleri bulunan İŞCİ, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği alanında ön lisans düzeyinde çeşitli dersler vermektedir.

Zeydin SARPDAĞ

1997 yılında Van'da doğdu 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünden lisans mezunu oldu. 2021-2023 yılında Gümüşhane Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünden yüksek lisans mezunu oldu. 2025 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversiteside İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünde doktora eğitimi devam etmektedir. B Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanıdır.

Ahmet Mert AYDIN

Üsküdar Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Lisans Bölümü mezunudur. B sınıfı iş güvenliği uzmanı olarak yaklaşık dört yıl boyunca sahada görev yapmış ve farklı sektörlerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında deneyim kazanmıştır. Yüksek Lisans öğrenimini İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesinde tamamlamıştır. Akademik kariyerine araştırma görevlisi olarak başlayan Aydın, doktora eğitimine Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda devam etmektedir. Halen Doğuş Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak görev yapmakta ve iş sağlığı ve güvenliği alanında dersler vermektedir.

Muhammed Fatih CELEP

1998 yılında Düzce'de doğdu. 2020 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümünden mezun oldu. 2022 yılında aynı üniversitenin İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programını tamamladı. 2023 yılında İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programına başladı ve doktora eğitimine devam etmektedir. 2022-2025 yılları arasında İş Doğuş Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak görev yaptı. 2025 yılından bu yana İstanbul Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Koordinatörlüğünde öğretim görevlisi olarak görev yapmakta olup, aynı zamanda B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Risk değerlendirmesi ve ilk yardım başlıca çalışma alanlarıdır.

Yangın Güvenliği Mevzuatının Mesleki Eğitime Yansımaları: Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Önlisans Programı Örneği

Öğr. Gör. Mehmet Altuğ KÜÇÜKOSMANOĞLU

ÖZET

Yangın güvenliği, yapı güvenliğinin sağlanması ve can-mal kayıplarının azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de binalarda yangın güvenliğine ilişkin temel düzenlemeler Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında belirlenmektedir. Bu yönetmelik, yapıların tasarımından kullanımına kadar birçok aşamada yangın güvenliği önlemlerini düzenlemekte ve yangın güvenliği sistemlerinin uygulanmasına ilişkin teknik esasları ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, yangın güvenliği mevzuatında yer alan düzenlemelerin mesleki eğitim programlarına yansımalarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Nitel araştırma yaklaşımıyla yürütülen çalışmada Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik doküman incelemesi yöntemiyle incelenmiş; yönetmelik hükümleri yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk, yapısal yangın güvenliği, kaçış yolları ve tahliye, yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman kontrol sistemleri, yangın söndürme sistemleri ile tehlikeli maddelerin depolanması ve kullanılması olmak üzere yedi tema altında sınıflandırılmıştır. Yönetmelik temaları İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programı müfredatıyla karşılaştırılmıştır. Yangın güvenliği yönetimi ve tehlikeli maddeler temalarında güçlü uyum saptanırken duman kontrol sistemleri ve kaçış yolları temalarında müfredatta doğrudan ders bulunmadığı tespit edilmiştir. Yangın algılama sistemleri temasında ise tam örtüşme sağlayan dersin yalnızca seçmeli statüsünde yer aldığı görülmüştür. Bu bulguların, mevzuat güncellemelerinin eğitim programlarına gecikmeli yansıması ve disiplinler arası içeriklerin ön lisans düzeyinde aktarılmasındaki yapısal güçlüklerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yangın güvenliği mevzuatı ile mesleki eğitim programları arasındaki uyumun güçlendirilmesi, sahada görev yapacak teknik personelin niteliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yangın güvenliği, yangın mevzuatı, mesleki eğitim, sivil savunma ve itfaiyecilik, müfredat analizi, doküman incelemesi

Reflections of Fire Safety Legislation on Vocational Education:

The Case of the Civil Defense and Firefighting Associate Degree Program

ABSTRACT

Fire safety is critical for building safety and reducing loss of life and property. In Türkiye, fire safety regulations are governed by the Regulation on the Protection of Buildings from Fire, which establishes technical requirements for fire safety measures throughout the design, construction, and use of buildings.

This study aims to evaluate the extent to which fire safety legislation is reflected in vocational education programs. Using a qualitative research approach, the regulation was examined through document analysis and its provisions were classified under seven themes: fire safety management and responsibility, structural fire safety, escape routes and evacuation, fire detection and warning systems, smoke control systems, fire suppression systems, and storage and use of hazardous materials. The themes were compared against the curriculum of the Civil Defense and Firefighting associate degree program at Istanbul University-Cerrahpaşa Technical Sciences Vocational School. Strong alignment was found in fire safety management and hazardous materials themes, whereas no dedicated courses were identified for smoke control systems and escape routes. Additionally, the only course fully covering fire detection systems was found to be an

elective. These gaps are attributed to delays in integrating regulatory updates into curricula and structural challenges in delivering interdisciplinary content at the associate degree level. Strengthening the alignment between fire safety legislation and vocational education programs is essential for improving the qualifications of technical personnel working in the field.

Keywords: Fire safety, fire safety legislation, vocational education, civil defense and firefighting, curriculum analysis, document analysis

1. Giriş

Yapı yangınları, can ve mal kayıplarının yanı sıra önemli toplumsal ve ekonomik sonuçlar doğurabilen afetlerdendir. Yangının oluşumu ve gelişimi; yapı özellikleri, kullanılan malzemeler, çevresel koşullar ve insan davranışları gibi birçok faktörün etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yangın güvenliği yalnızca teknik çözümlerle sınırlı olmayan, planlama, tasarım, yönetim ve eğitim süreçlerini kapsayan çok disiplinli bir alan olarak değerlendirilmektedir (Drysdale, 2011; Hurley vd., 2016).

Yangın güvenliğinin sağlanmasında yapı tasarımı, yangın algılama ve söndürme sistemleri gibi mühendislik çözümleri önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte yangın risklerinin azaltılmasında bireylerin bilgi düzeyi, risk algısı ve acil durumlara müdahale becerileri de büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda yangın güvenliği eğitimlerinin bireylerin yangın güvenliği konusundaki bilgi ve farkındalık düzeylerini artırdığı çeşitli araştırmalarda ortaya konulmuştur (Noh & Park, 2022; Saklangıç & Mertoğlu, 2023). Özellikle üniversite öğrencileri üzerinde yapılan çalışmalar, yangın güvenliği ekipmanlarının kullanımı ve acil durumlara hazırlık konusunda eğitim faaliyetlerinin önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Zhang vd., 2022).

Yangın güvenliği uygulamalarının etkinliği büyük ölçüde ilgili mevzuat düzenlemelerinin doğru uygulanmasına bağlıdır. Türkiye'de binaların yangından korunmasına ilişkin temel düzenleme Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik olup söz konusu yönetmelik; tasarım, yapım, kullanım ve denetim süreçlerine yönelik kapsamlı hükümler içermektedir (Resmî Gazete, 2007). Yapılan çalışmalar, Türkiye yangın güvenliği mevzuatının özellikle cephe sistemleri ve yapısal önlemler konusunda uluslararası standartlara yaklaştığını ancak uygulamada önemli boşlukların sürdüğünü ortaya koymaktadır (Yaman & Demirel, 2020).

Yangın güvenliği alanında verilen eğitimlerin etkili olabilmesi için eğitim içeriklerinin mevzuat hükümleri ve saha uygulamaları ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalar, kurumlarda gerçekleştirilen yangın ve tahliye eğitimlerinin güvenli davranış geliştirilmesi açısından önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır (Kırtaş & Altundağ, 2020). Benzer şekilde Türkiye'de itfaiyecilik ve yangın güvenliği eğitimi alan öğrencilerin afet bilgi düzeylerini ve afetlerde görev alma isteklerini inceleyen çalışmalar, bu alanda verilen eğitimin mesleki yeterliliklerin geliştirilmesi açısından önemli olduğunu göstermektedir (Kaya & Altıntaş, 2018; Yılmaz, 2023).

Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programları, yangın güvenliği alanında görev yapacak teknik personelin yetiştirilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Türkiye'de meslek yüksekokulları bünyesinde açılan bu program, ülke genelinde yaygınlaşmakta; yangın müdahalesi, kurtarma ve afet yönetimi gibi alanlarda nitelikli personel yetiştirmeyi hedeflemektedir. Türkiye Yeterlilikler Çerçevesi'nde (TYÇ) bu program için tanımlanan diploma yeterlilikleri arasında itfaiyecilik mevzuatı ve yönetmeliklere hâkim olmak açıkça yer almakta olup mevzuat bilgisi programın temel çıktılarından biri olarak kabul edilmektedir (TYÇ, t.y.). Bu programlarda verilen ders içeriklerinin sahada karşılaşılan riskler ve güncel mevzuat düzenlemeleri ile uyumlu olması, mesleki yeterliliklerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Küçükosmanoğlu, 2025).

Yangın güvenliği alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların büyük ölçüde yangın güvenliği sistemlerinin teknik özellikleri, yangın davranışı, bina tasarımı ve yangın güvenliği eğitimlerinin bireyler üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Drysdale, 2011; Hurley vd., 2016; Noh & Park, 2022; Zhang vd., 2022). Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalar ise daha çok yangın ve tahliye eğitimleri ile yangın güvenliği farkındalığı konularına odaklanmaktadır (Kırtaş & Altundağ, 2020; Odabaş vd., 2025; Saklangıç & Mertoğlu, 2023).

Özellikle yangın güvenliği alanında görev yapacak teknik personelin yetiştirildiği Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarında verilen ders içeriklerinin, yürürlükteki yangın güvenliği mevzuatı ile ne ölçüde uyumlu olduğuna yönelik çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Oysa yangın güvenliği uygulamalarının etkinliği

yalnızca teknik sistemlerin varlığına değil, aynı zamanda bu sistemleri doğru şekilde tasarlayan, uygulayan ve yöneten nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesine de bağlıdır (Ütük & Baraçlı, 2024). Kaçış yolları ve tahliye düzenlemelerinin mevzuatta kapsamlı biçimde yer almasına karşın bu konunun eğitim programlarına yansımasının sınırlı kaldığı, özellikle yurt binaları gibi yüksek risk taşıyan yapılara yönelik çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Yaman, 2021). Ayrıca mimarlık ve mühendislik eğitimlerinde yangın güvenliği konusunun eğitim programlarında yeterince yer almasının yapı güvenliği açısından kritik olduğu da vurgulanmaktadır (Bodur, 2023). Orman yangınlarıyla mücadele eden personelin hizmet içi eğitimlere ilişkin algılarını inceleyen çalışmalar da eğitimin mesleki yeterliliklerin geliştirilmesindeki rolüne dikkat çekmektedir (Şafak vd., 2023).

Bu bağlamda bu çalışmada Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan düzenlemeler incelenerek söz konusu mevzuat hükümlerinin Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarında verilen ders içerikleri ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Böylece yangın güvenliği mevzuatı ile mesleki eğitim arasındaki ilişkinin ortaya konulması ve eğitim programlarının geliştirilmesine yönelik bir değerlendirme yapılması amaçlanmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yangın güvenliği mevzuatının mesleki eğitime yansımalarını inceleyen sınırlı sayıdaki araştırmalardan biri olmanın ötesinde, bu alandaki önemli bir literatür boşluğunu doldurmayı hedeflemektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Araştırma Yöntemi

Bu çalışma nitel araştırma yaklaşımı kapsamında yürütülmüş olup doküman incelemesi yöntemine dayanmaktadır. Doküman incelemesi, belirli bir konuya ilişkin yazılı belgelerin sistematik biçimde incelenmesi ve yorumlanması sürecini ifade etmektedir (Bowen, 2009). Bu çalışmada yangın güvenliği mevzuatı ile mesleki eğitim programları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla ilgili mevzuat metinleri ve eğitim programı içerikleri analiz edilmiştir.

2.2 Veri Kaynakları

Araştırmada iki temel veri grubu kullanılmıştır. Birinci veri grubunu yangın güvenliği mevzuatı oluşturmaktadır. Bu kapsamda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in (R.G. 19.12.2007/26735), 30.06.2025 tarihli ve 10026 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile yapılan son değişiklik (R.G. 01.07.2025/32943) dahil güncel metni incelenmiştir (Resmî Gazete, 2007, 2025). İkinci veri grubunu ise mesleki eğitim programı verileri oluşturmaktadır. Bu kapsamdaki veriler, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu (İÜC TBMYO) Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programının 2024-2025 eğitim-öğretim yılına ait müfredatından elde edilmiştir. Dört yarıyıldan oluşan program; itfaiyecilik, yangın güvenliği, kurtarma teknikleri, afet yönetimi ve sivil savunma gibi alanlarda teorik ve uygulamalı dersler içermektedir. Programda yer alan zorunlu ve seçmeli dersler ile bu derslere ait içerikler ve öğrenme çıktıları analiz kapsamına alınmıştır. Söz konusu iki veri grubu, yönetmelikte yer alan düzenlemeler ile program müfredatındaki ders içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmesi amacıyla bir arada kullanılmıştır.

2.3 Veri Analizi

Araştırmada elde edilen verilerin analizinde içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle yönetmelikte yer alan hükümler, yönetmeliğin kısım yapısı esas alınarak araştırmacı tarafından tematik olarak sınıflandırılmıştır. Birinci ve Onikinci Kısımlar tanım, sınıflandırma ve yürürlük gibi çerçeve hükümler içerdiğinden; Dördüncü, Onuncu ve Onbirinci Kısımlar ise belirli bina bölümlerine, mevcut binalara ve tarihi yapılara özgü düzenlemeler içerdiğinden tüm yapılara uygulanan genel temalar düzeyinde karşılaştırmaya elverişli görülmemiş ve kapsam dışında tutulmuştur. Daha sonra bu temalar, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programında verilen ders içerikleri ile eşleştirilmiştir. Eşleştirme sürecinde tam örtüşme, kısmi örtüşme ve örtüşme yok şeklinde üç düzey belirlenmiş; ders adı ve içeriğinde ilgili temaya ait anahtar kavramların yer alıp almadığı esas kriter olarak alınmıştır. Bir dersin içeriği doğrudan ilgili temayı kapsıyorsa tam örtüşme,

temaya kısmen değiniliyorsa kısmi örtüşme, temaya hiç yer verilmemişse örtüşme yok olarak değerlendirilmiştir. Tema-ders eşleştirmesi, Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programında öğretim görevlisi olarak görev yapan araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacının alana ilişkin mesleki deneyimi ve program içeriklerine hâkimiyeti eşleştirme sürecini desteklemekle birlikte, eşleştirmenin tek araştırmacı tarafından yapılmış olması çalışmanın sınırlılıkları arasında yer almaktadır.

Bu süreçte aşağıdaki yedi tematik başlık dikkate alınmıştır: yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk, yapısal yangın güvenliği, kaçış yolları ve tahliye, yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman kontrol sistemleri, yangın söndürme sistemleri ile tehlikeli maddelerin depolanması ve kullanılması.

Elde edilen bulgular doğrultusunda yangın güvenliği mevzuatının mesleki eğitim programlarına ne ölçüde yansıdığı değerlendirilmiştir.

2.4 Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırma bazı sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir. Öncelikle çalışma, yalnızca İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programının 2024-2025 eğitim-öğretim yılına ait müfredatı ile sınırlıdır; Türkiye'deki diğer meslek yüksekokullarının programları kapsam dışında tutulmuştur. Bunun yanı sıra mevzuat boyutunda yalnızca Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik incelenmiş, yangın güvenliğine ilişkin diğer mevzuat düzenlemeleri araştırma kapsamına alınmamıştır. Ayrıca tema-ders eşleştirmesi tek araştırmacı tarafından yapılmış, bağımsız ikinci bir kodlayıcıyla uyum kontrolü gerçekleştirilmemiştir. Son olarak ders içeriklerine ilişkin veriler, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın resmi Eğitim Bilgi Sistemi'nde (EBS) kamuya açık olarak yayımlanan program belgelerinden elde edildiğinden, derslerde fiilen işlenen içerik ile belgelenen içerik arasındaki olası farklılıklar analize yansımamaktadır.

3. Bulgular

Bu bölümde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile İÜC TBMYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programı müfredatının karşılaştırmalı analizinden elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle yönetmelik hükümleri yedi temel tema altında ele alınmış ve her tema için müfredattaki karşılıklar tam örtüşme, kısmi örtüşme ve örtüşme yok şeklinde değerlendirilmiştir. Ardından karşılaştırmalı analizden elde edilen bulgular doğrultusunda programın güçlü yönleri ve müfredattaki boşluklar tartışılmış; mevzuat, mesleki eğitim ve uygulama alanları arasındaki ilişkiye yönelik kavramsal bir model önerilmiştir.

3.1 Mevzuat ve Müfredat Karşılaştırması

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te yer alan yangın güvenliğine ilişkin düzenlemeler, yönetmeliğin kısım yapısı esas alınarak yedi temel tema altında sınıflandırılmıştır. Bu temalar; yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk, yapısal yangın güvenliği, kaçış yolları ve tahliye, yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman kontrol sistemleri, yangın söndürme sistemleri ve tehlikeli maddelerin depolanması ve kullanılmasıdır. Aşağıda her tema için yönetmelikteki düzenlemeler açıklanmış ve İÜC TBMYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programı müfredatındaki karşılıkları değerlendirilmiştir.

Yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk teması yönetmeliğin 9. Kısmında 124-131. maddeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu maddeler; yapı, bina, tesis ve işletmelerde yangın güvenliği sorumluluğunun kimde olduğunu, acil durum ekiplerinin kuruluşunu, görevlerini, personelin eğitimini ve denetim süreçlerini düzenlemektedir. Müfredat incelendiğinde bu temanın en güçlü örtüşmeyi sağladığı alan olduğu görülmektedir. Yangın Güvenliği, İtfaiye Mevzuatı ve Standartlar ile Acil Durum Yönetimi ve Sivil Savunma dersleri tam örtüşme sağlarken İtfaiyecilik ve Yangın Güvenliğine Giriş, Yangınlar ve Yangından Korunma I, İtfaiyecilikte Yönetim ve Organizasyon, Yangına Müdahale Teknikleri I-II ile Kurtarma Tekniği I ve Kurtarma Teknikleri II dersleri kısmi örtüşme sağlamaktadır.

Yapısal yangın güvenliği teması yönetmeliğin 2. Kısmında 21-29. maddeler kapsamında düzenlenmektedir.

Bu maddeler; binaların yerleşimi, itfaiye erişim yolları, taşıyıcı sistem stabilitesi, yangın kompartımanları, yangın duvarları, döşemeler, cepheler ve çatılara ilişkin yapısal gereklilikleri içermektedir. Müfredatta Yapı Bilgisi dersi bu tema ile tam örtüşme sağlamaktadır. Yangın Kimyası, Yangın Dinamiği ve Endüstriyel Yangın Güvenliği dersleri ise kısmi örtüşme sağlamaktadır. Yapı Bilgisi dersinin zorunlu statüsünde olması, yapısal yangın güvenliğine ilişkin temel bilgilerin tüm öğrencilere aktarılması açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmektedir.

Kaçış yolları ve tahliye teması yönetmeliğin 3. Kısmında 30-47. maddeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu maddeler; kaçış güvenliği esasları, kaçış yollarının sayısı ve genişliği, kaçış merdivenleri, acil çıkış gerekliliklerı ve kaçış yolu kapılarına ilişkin düzenlemeleri içermektedir. Müfredatta bu temayı doğrudan ve bütünüyle karşılayan bir ders bulunmamaktadır. Bununla birlikte Yangın Güvenliği, Yapı Bilgisi ve Acil Durum Yönetimi ve Sivil Savunma derslerinde kaçış yolları, tahliye mesafeleri ve acil durum eylem planlarına ilişkin konular kısmi olarak ele alınmaktadır.

Yangın algılama ve uyarı sistemleri teması yönetmeliğin Elektrik Tesisatı ve Sistemleri başlıklı 5. Kısmında, 74-83. maddeler kapsamında düzenlenmektedir. Bu maddeler; yangın algılama ve uyarı sistemlerinin tasarım ilkeleri, alarm verme, kontrol panelleri, sesli ve ışıklı uyarı cihazları ile acil durum kontrol sistemlerine ilişkin gereklilikleri içermektedir. Müfredatta Yangın Güvenlik Sistemlerinin Tasarımında Özel Yöntemler dersi bu tema ile tam örtüşme sağlamaktadır. Ancak bu dersin seçmeli statüsünde olması, söz konusu içeriklere tüm öğrencilerin ulaşamayabileceğine işaret etmektedir. İtfaiyeciler için Elektrik Tesisat Bilgisi ve Yangın Tesisat Bilgisi ve Projelendirme dersleri ise kısmi örtüşme sağlamaktadır.

Duman kontrol sistemleri teması yönetmeliğin 6. Kısmında 85-89. maddeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu maddeler; duman kontrol sistemlerinin tasarım ilkeleri, doğal ve mekanik duman tahliyesi, basınçlandırma sistemleri ve havalandırma tesisatının duman kontrolündeki kullanımını düzenlemektedir. Müfredatta bu temayı doğrudan karşılayan bir ders bulunmamaktadır. Yangın Güvenliği ve Yapı Bilgisi derslerinde duman kontrolüne ilişkin konulara kısmen değinilmekle birlikte bu temanın yönetmelikteki kapsamı ve önemi göz önüne alındığında mevcut içeriklerin yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir.

Yangın söndürme sistemleri teması yönetmeliğin 7. Kısmında 90-100. maddeler kapsamında düzenlenmektedir. Bu maddeler; sulu söndürme sistemleri, su depoları ve kaynakları, yangın pompaları, sabit boru tesisatı, hidrant sistemi, yağmurlama sistemi, köpüklü, gazlı ve kuru tozlu söndürme sistemleri ile taşınabilir söndürme cihazlarına ilişkin teknik gereklilikleri içermektedir. Müfredatta Yangın Tesisat Bilgisi ve Projelendirme ile Bilgisayar Destekli Yangın Tesisat Proje Çizimi dersleri tam örtüşme sağlamaktadır. Hidrolik, İtfaiye Araç ve Malzeme Bilgisi I ve II dersleri ise kısmi örtüşme sağlamaktadır. Bununla birlikte tam örtüşme sağlayan derslerden birinin seçmeli statüsünde olması dikkat çekici bir bulgu olarak öne çıkmaktadır.

Tehlikeli maddelerin depolanması ve kullanılması teması yönetmeliğin 8. Kısmında 101-123. maddeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu maddeler; tehlikeli maddelerin sınıflandırılması, patlayıcı maddeler, LPG ve doğalgaz depolama esasları ile yanıcı ve parlayıcı sıvıların depolanmasına ilişkin güvenlik gerekliliklerini düzenlemektedir. Müfredatta Tehlikeli Maddeler dersi bu tema ile tam örtüşme sağlarken KBRN Tehditleri ve Korunma dersi kısmi örtüşme sağlamaktadır. Tehlikeli Maddeler dersinin zorunlu statüsünde olması, bu alandaki mevzuat gerekliliklerinin karşılanması açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Yönetmelik temaları ile müfredat dersleri arasındaki eşleştirmeye ilişkin bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Yönetmelik temaları ile müfredat dersleri arasındaki eşleştirme.

Tema	Yönetmelik Maddeleri	Tam Örtüşme	Kısmi Örtüşme	Örtüşme Yok
1. Yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk	124-131	Yangın Güvenliği (Z), İtfaiye Mevzuatı ve Standartlar (Z), Acil Durum Yönetimi ve Sivil Savunma (Z)	İtfaiyecilik ve Yangın Güvenliğine Giriş (Z), Yangınlar ve Yangından Korunma I (Z), İtfaiyecilikte Yönetim ve Organizasyon (S), Yangına Müdahale Teknikleri I-II (Z), Kurtarma Tekniği I (Z), Kurtarma Teknikleri II (Z)	—
2. Yapısal yangın güvenliği	21-29	Yapı Bilgisi (Z)	Yangın Kimyası (Z), Yangın Dinamiği (S), Endüstriyel Yangın Güvenliği (S)	—
3. Kaçış yolları ve tahliye	30-47	—	Yangın Güvenliği (Z), Yapı Bilgisi (Z), Acil Durum Yönetimi ve Sivil Savunma (Z)	—
4. Yangın algılama ve uyarı sistemleri	74-83	Yangın Güvenlik Sistemlerinin Tasarımında Özel Yöntemler (S)	İtfaiyeciler için Elektrik Tesisat Bilgisi (Z), Yangın Tesisat Bilgisi ve Projelendirme (S)	—
5. Duman kontrol sistemleri	85-89	—	Yangın Güvenliği (Z), Yapı Bilgisi (Z)	—
6. Yangın söndürme sistemleri	90-100	Yangın Tesisat Bilgisi ve Projelendirme (S), Bilgisayar Destekli Yangın Tesisat Proje Çizimi (Z)	Hidrolik (S), İtfaiye Araç ve Malzeme Bilgisi I-II (Z)	—
7. Tehlikeli maddelerin depolanması ve kullanılması	101-123	Tehlikeli Maddeler (Z)	KBRN Tehditleri ve Korunma (Z)	—

Z: Zorunlu ders, S: Seçmeli ders. Bazı dersler birden fazla temayı kapsadığından birden fazla temada yer almaktadır. İncelenen tüm temalarda en az kısmi örtüşme saptandığından Örtüşme Yok sütununda ders bulunmamaktadır.

3.2 Müfredattaki Boşluklar ve Güçlü Yönler

Yönetmelik temaları ile müfredat dersleri arasındaki karşılaştırmalı analiz, programın güçlü yönlerini ortaya koymakla birlikte bazı önemli boşlukları da gün yüzüne çıkarmaktadır.

Programın güçlü yönleri incelendiğinde yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk temasının en kapsamlı biçimde karşılanan alan olduğu görülmektedir. Bu temada birden fazla zorunlu ders tam örtüşme sağlamakta olup ilgili mevzuat hükümleri müfredatta geniş bir yer bulmaktadır. Yangın söndürme sistemleri temasında teorik derslerin uygulamalı derslerle desteklendiği görülmekle birlikte, tam örtüşme sağlayan derslerden birinin seçmeli olması bu temadaki uyumu sınırlamaktadır. Tehlikeli maddeler temasında ise Tehlikeli Maddeler dersinin zorunlu statüsünde yer alması, bu alandaki mevzuat gerekliliklerinin tüm öğrencilere aktarılması açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte analiz, müfredatta bazı kritik boşlukların bulunduğunu ortaya koymaktadır. Duman kontrol sistemleri temasını doğrudan karşılayan herhangi bir ders bulunmamakta; bu konuya yalnızca Yangın Güvenliği ve Yapı Bilgisi derslerinde kısmen değinilmektedir. Oysa duman kontrol sistemleri yönetmelikte ayrı bir kısım olarak düzenlenmiş olup yangın güvenliği uygulamaları açısından kritik bir öneme sahiptir. Benzer şekilde kaçış yolları ve tahliye temasını bütünüyle karşılayan bir ders de müfredatta yer almamaktadır. Bu temaya ilişkin içerikler mevcut dersler arasında dağınık biçimde yer almakta ve sistematik bir bütünlük sağlanamamaktadır. Yangın algılama ve uyarı sistemleri temasında ise tam örtüşme sağlayan tek dersin seçmeli statüsünde olması, bu kritik içeriklerin tüm öğrenciler tarafından edinilememesi riskini doğurmaktadır.

Elde edilen bulgular, yangın güvenliği mevzuatı ile mesleki eğitim programı arasındaki ilişkinin tek yönlü değil döngüsel bir yapıda ele alınması gerektiğine işaret etmektedir. Bu bağlamda araştırmacı tarafından önerilen ve Şekil 1'de sunulan kavramsal model, mevzuat, mesleki eğitim, uygulayıcı kurumlar ve toplumsal yangın güvenliği arasındaki ilişkiyi bütüncül bir çerçevede açıklamaktadır. Modele göre yangın güvenliği mevzuatı mesleki eğitim programlarının içeriğini doğrudan şekillendirmekte; bu programlardan mezun olan nitelikli teknik personel ise uygulayıcı kurumlarda görev alarak mevzuat hükümlerini sahaya taşımaktadır. Söz konusu süreç nihayetinde toplumsal yangın güvenliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Sahadan elde edilen deneyimler ise geri bildirim yoluyla mevzuatın güncellenmesine kaynaklık ederek döngüyü tamamlamaktadır. Bu nedenle mevzuat geliştirme süreçlerinde mesleki eğitim programlarının da bir referans kaynak olarak dikkate alınması, döngünün etkinliğini artıracaktır.



Şekil 1. Yangın Güvenliği Mevzuatı, Mesleki Eğitim ve Uygulama Alanları Arasındaki İlişki.

4. Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular, İÜC TBMYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programı müfredatının yangın güvenliği mevzuatıyla genel olarak uyumlu olmakla birlikte bazı kritik alanlarda önemli boşluklar barındırdığını ortaya koymaktadır. Bu bölümde söz konusu bulgular ilgili literatür çerçevesinde değerlendirilmekte ve boşlukların olası nedenleri tartışılmaktadır.

Bulgular incelendiğinde yangın güvenliği yönetimi ve sorumluluk temasının müfredatta en güçlü biçimde karşılanan alan olduğu görülmektedir. Bu durum, yangın güvenliği eğitimlerinin bireylerin bilgi ve farkındalık düzeyini artırdığını ortaya koyan çalışmalar dikkate alındığında önem taşımaktadır (Noh & Park, 2022; Saklangıç & Mertoğlu, 2023). Benzer şekilde Kırtaş ve Altundağ (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışma da yangın ve tahliye eğitimlerinin güvenli davranış geliştirilmesi açısından önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Ancak bu çalışmada mezunların yeterlilikleri ölçülmediğinden, programın söz konusu temadaki güçlü yapısının mesleki yeterliliklere yansıması ileride sınanması gereken bir varsayım olarak değerlendirilmelidir.

Bununla birlikte duman kontrol sistemleri ve kaçış yolları temalarında müfredatta doğrudan ders bulunmaması dikkat çekici bir bulgudur. Bodur (2023) mimarlık ve mühendislik eğitimlerinde yangın güvenliği konusunun yeterince yer almasının yapı güvenliği açısından kritik olduğunu vurgulamaktadır. Bu tespit ön lisans programları için de geçerliliğini korumaktadır. Yangın güvenliği uygulamalarının etkinliğinin yalnızca teknik sistemlerin varlığına değil aynı zamanda bu sistemleri doğru şekilde tasarlayan, uygulayan ve yöneten nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesine de bağlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda (Ütük & Baraçlı, 2024) söz konusu boşlukların giderilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yangın algılama ve uyarı sistemleri temasında tam örtüşme sağlayan dersin seçmeli statüsünde olması da önemli bir bulgu olarak öne çıkmaktadır. Yangınla mücadele personelinin hizmet içi eğitim algılarını inceleyen Şafak vd. (2023) de eğitimin mesleki yeterliliklerin geliştirilmesindeki rolüne dikkat çekmektedir. Bu bağlamda algılama sistemlerine ilişkin içeriklerin yalnızca seçmeli dersler aracılığıyla aktarılması tüm öğrencilerin bu yeterliliklere ulaşamaması riskini doğurmaktadır.

Müfredattaki boşlukların arka planı değerlendirildiğinde birbirleriyle bağlantılı birkaç nedenin öne çıktığı görülmektedir. Öncelikle yönetmeliğin 2007 yılında yürürlüğe girmesinden bu yana defalarca güncellenmesine karşın bu güncellemelerin eğitim programlarına yansımasının zaman alabildiği değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra yükseköğretimde yeni 3+1 sistemine geçiş süreci müfredat yapılarının yeniden düzenlenmesini zorunlu kılmakta olup bu sürecin de uyum güçlükleri doğurabileceği düşünülmektedir. Türkiye özelinde yapılan çalışmalar da mevzuatın uluslararası standartlara yaklaşmasına karşın uygulamada önemli boşlukların sürdüğünü ortaya koymaktadır (Yaman & Demirel, 2020).

Bir diğer olası neden olarak mevzuat oluşturma süreçlerinde akademik çevrelerin yeterince temsil edilmemesi gösterilebilir. Kamu, akademi ve özel sektör arasındaki iş birliğinin yetersiz kalması mevzuat ile eğitim programları arasındaki uyumsuzluğun yapısal bir kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu sorunun yalnızca itfaiyecilik eğitimine özgü olmadığı; Türkiye'deki teknik eğitimin genel bir sorunu olduğu, mühendislik fakültelerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimini inceleyen çalışmalarda da benzer bulgular ortaya çıkmasıyla görülmektedir (Doğan vd., 2017). Üniversite-sanayi iş birliği protokollerinin hayata geçirilmesinin zaman alması da söz konusu iş birliğini güçleştiren bir etken olarak değerlendirilmektedir. Alanında uzman öğretim elemanı teminindeki güçlükler de müfredattaki boşlukların olası nedenleri arasında sayılabilir. Duman kontrolü ve kaçış yolu tasarımı gibi konular mimarlık ve inşaat mühendisliği ile kesişen disiplinler arası bir yapı sergilemekte olup bu içeriklerin ön lisans düzeyinde verilmesi yapısal bir güçlük oluşturmaktadır. Kaçış yolları gibi mevzuatta ayrıntılı biçimde düzenlenen konuların öğrenci yurtları başta olmak üzere farklı yapı türlerinde nasıl uygulandığı ve bu uygulamaların eğitimle ilişkisi üzerine yapılan çalışmalar da söz konusu boşlukların pratik sonuçlarını somutlaştırmaktadır (Yaman, 2021).

Son olarak Türkiye'deki yangın güvenliği mevzuatının uluslararası standartlara yaklaşma eğilimi gösterdiği (Yaman & Demirel, 2020), buna karşın eğitim programlarının bu gelişmeleri takip etmekte geride kalabildiği değerlendirilmektedir. Benzer durumun Türkiye genelindeki diğer Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarında da görülüp görülmediği, kapsamı genişletilmiş çalışmalarla ortaya konulmalıdır. Bu çalışmanın bulguları, diğer meslek yüksekokullarının kendi programlarını değerlendirmeleri ve geliştirmeleri için bir başlangıç noktası ve örnek analiz olarak değerlendirilebilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile İÜC TBMYO Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programı müfredatı arasındaki uyumu karşılaştırmalı bir analiz yöntemiyle incelemiş ve önemli bulgular ortaya koymuştur. Analiz sonucunda programın yangın güvenliği yönetimi ve tehlikeli maddeler temalarında mevzuatla güçlü bir uyum sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte duman kontrol sistemleri ve kaçış yolları temalarında doğrudan ders bulunmaması, yangın algılama sistemlerine ilişkin tam örtüşme sağlayan dersin yalnızca seçmeli statüsünde yer alması dikkat çekici boşluklar olarak tespit edilmiştir.

Tek bir programa dayanmakla birlikte bu bulgular, Türkiye genelindeki Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarında da benzer yapısal sorunların bulunabileceğine işaret etmektedir. Mevzuat güncellemelerinin eğitim programlarına gecikmeli yansıması, disiplinler arası içeriklerin ön lisans düzeyinde aktarılmasındaki güçlükler, uzman öğretim elemanı teminindeki kısıtlar ve üniversite-sanayi iş birliğinin yetersizliği bu sorunların olası kaynakları olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmanın temel çıkarımı şudur: Yangın güvenliği yalnızca mühendislik ve mimarlık alanlarının sorumluluğunda değildir. Sahada fiilen görev yapacak teknik personeli yetiştiren Sivil Savunma ve İtfaiyecilik ön lisans programları, yangın güvenliği zincirinin vazgeçilmez bir halkasını oluşturmaktadır. Bu programların varlığının ve katkısının yönetmelik hazırlayıcıları tarafından görünür kılınması, mevzuat ile eğitim arasındaki uyumun sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

Yönetmelik hazırlayıcılarına yönelik öneriler kapsamında öncelikle mevzuat geliştirme ve güncelleme süreçlerine Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarında görev yapan akademisyenlerin ve alan uzmanlarının dahil edilmesi önerilmektedir. Yangın güvenliği mevzuatının yalnızca teknik boyutlarıyla değil bu mevzuatı uygulayacak personelin nasıl yetiştirileceği sorusu da gözetilerek hazırlanması gerekmektedir. Kamu, akademi ve özel sektörün bir araya geldiği danışma mekanizmalarının oluşturulması, mevzuat ile eğitim arasındaki yapısal kopukluğun giderilmesine önemli katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra duman kontrol sistemleri ve kaçış yolları gibi mevzuatta ayrı kısımlar olarak düzenlenen ancak müfredatta yeterince kar-

şılanamayan temaların eğitim programlarına nasıl entegre edileceğine ilişkin yönlendirici düzenlemelerin hayata geçirilmesi önerilmektedir.

Gelecekteki araştırmacılara yönelik öneriler kapsamında ise bu çalışmanın yalnızca İÜC TBMYO örneğiyle sınırlı olduğu göz önünde bulundurularak benzer analizlerin Türkiye genelindeki tüm Sivil Savunma ve İtfaiyecilik programlarını kapsayacak biçimde genişletilmesi önerilmektedir. Ayrıca müfredat-mevzuat uyumunun yalnızca ders adları ve içerikleri üzerinden değil mezun yetkinlikleri ve saha performansı üzerinden de değerlendirildiği karma yöntemli çalışmaların alan yazınına önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir. Son olarak, uygulamalı eğitim içeriklerinin teorik bilgiyle nasıl bütünleştirilebileceğine ve bu süreçte üniversite-sanayi iş birliğinin nasıl etkinleştirilebileceğine odaklanan araştırmaların da bu alandaki boşlukların giderilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

Bodur, A. (2023). The precedence of fire safety in architectural education. Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi, 3(2), 178–186.

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Doğan, B., Yalçınkaya, C., & Balcı, M. G. (2017). Türkiye'de mühendislik fakültelerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimi. *Mühendis ve Makina*, *58*(685), 1–15.

Drysdale, D. (2011). An introduction to fire dynamics (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Hurley, M. J., Gottuk, D. T., Hall, J. R., Jr., Harada, K., Kuligowski, E. D., Puchovsky, M., Torero, J. L., Watts, J. M., Jr., & Wieczorek, C. J. (Eds.). (2016). SFPE handbook of fire protection engineering (5th ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0

Kaya, E., & Altıntaş, H. (2018). Willingness of firefighting program students to work in disasters—Turkey. Prehospital and Disaster Medicine, 33(1), 13–22. https://doi.org/10.1017/S1049023X17007087

Kırtaş, H. A., & Altundağ, H. (2020). Yangın ve tahliye eğitim modeli araştırması. İSG Akademik, 2(1), 73–81.

Küçükosmanoğlu, M. A. (2025). Sivil savunma ve itfaiyecilik programlarında orman yangınları eğitimlerinin önemi ve ders sayılarının arttırılması gerekliliği. *UMYOS 2025 Bildiriler Kitabı*, 266–278.

Noh, G. O., & Park, M. J. (2022). The effect of fire-safety education on the knowledge and safety competency of college students. International Journal of Advanced Culture Technology, 10(1), 138–143.

Odabaş, L., Aksoy, G., & Yalın, F. (2025). An examination of fire safety and awareness in schools. Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management, 6(2), 98–111.

Resmî Gazete. (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. 19 Aralık 2007 tarih ve 26735 sayılı Resmî Gazete.

Resmî Gazete. (2025). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (Karar Sayısı: 10026). 1 Temmuz 2025 tarih ve 32943 sayılı Resmî Gazete.

Saklangıç, U., & Mertoğlu, B. (2023). The effect of fire training given with virtual reality applications on individual awareness. Journal of Technical Education and Training, 15(3), 25–34.

Şafak, I., Okan, T., & Karademir, D. (2023). Perceptions of Turkish forest firefighters on in-service trainings. Fire, 6(2), 38. https://doi.org/10.3390/fire6020038

Türkiye Yeterlilikler Çerçevesi [TYÇ]. (t.y.). Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Önlisans Diploması. https://tyc.gov.tr/yeterlilik/sivil-savunma-ve-itfaiyecilik-onlisans-diplomasi-TR003219279.html

Ütük, A., & Baraçlı, H. (2024). Evaluation of the knowledge and awareness of firefighters in Turkey in disaster risk management. *Sustainability*, *16*(9), 3720. https://doi.org/10.3390/su16093720

Yaman, M. (2021). Öğrenci yurt binalarında yangın güvenlik önlemleri ve tahliye simülasyonları: Binalarda *yangın güvenliği. Tasarım + Kuram*, *17*(34), 123–138.

Yaman, M., & Demirel, F. (2020). Cephelerde yangın güvenlik önlemleri ve mevzuatların karşılaştırmalı analizi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, *2*(1), 88–108.

Yılmaz, O. (2023). *Türkiye'de itfaiyecilik ve yangın güvenliği eğitimi alan öğrencilerin afet bilgi düzeylerinin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. https://acikerisim.comu.edu.tr/server/api/core/bitstreams/9f71a8a7-8655-47fc-a09b-e1f8bacdf140/content

Zhang, C., Hong, W. H., & Bae, Y. H. (2022). Fire safety knowledge of firefighting equipment among local and foreign university students. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(19), 12239. https://doi.org/10.3390/ijerph191912239

7. Kısa Özgeçmiş

Mehmet Altuğ KÜÇÜKOSMANOĞLU

1985'te İstanbul'da doğdu. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu; 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamladı. Halen İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İnan danışmanlığında "Türkiye Orman Yangınları için CBS Tabanlı Kırılganlık Modeli Geliştirilmesi" başlıklı doktora tezini yürütmektedir.

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı'nda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Başlıca çalışma alanları; orman yangınlarının CBS tabanlı mekânsal analizi, yangın gözetleme kulesi ağları ve orman yangını kırılganlık modellemesidir. Bunun yanı sıra itfaiyeciliğin meslekleşme süreci, kurumsal ve hukuki boyutları ile itfaiyecilik eğitimi üzerine çalışmalar yürütmektedir. Avrupa Aşırı Yangın Davranışı Ağı COST Action CA22164 (NERO) üyesidir.

NFPA 1660 ÇERÇEVESİNDE BÜTÜNLEŞİK ACİL DURUM YÖNETİMİ: ACİL MÜDAHALE EKİPLERİNİN HAZIRLIK, EĞİTİM, KOORDİNASYON VE OPERASYONEL YETERLİLİĞİ

Serkan KORKMAZ

ÖZET

Acil durumlar, günümüzde yalnızca olay anındaki müdahale kapasitesi ile değil; risk azaltma, hazırlık, organizasyon, koordinasyon, süreklilik ve iyileştirme boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken çok katmanlı bir yönetim alanı hâline gelmiştir. Özellikle yangınlar, doğal afetler, endüstriyel kazalar, tehlikeli madde olayları ve karmaşık çoklu olay senaryoları, müdahale ekiplerinin yalnızca teknik yeterliliklerini değil, aynı zamanda kurumsal hazırlık düzeylerini ve sistem bütünlüğünü de doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda NFPA 1660, acil durum yönetimi, iş sürekliliği ve kriz yönetimi bileşenlerini bütünleşik bir yapı içinde ele alan çağdaş bir standart olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, NFPA 1660 standardının acil durum yönetimine kazandırdığı sistematik yaklaşım değerlendirilmekte; özellikle acil müdahale ekiplerinin organizasyonu, eğitim gereksinimleri, görev tanımları, koordinasyon yapıları, tatbikat süreçleri ve operasyonel yeterlilikleri üzerinden standardın uygulanabilirliği tartışılmaktadır. Çalışmada ayrıca belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve diğer kritik altyapılar açısından NFPA 1660'ın sağlayabileceği yapısal katkılar ele alınmaktadır.

Makale, ölçülebilir performans kriterlerine dayanan, yetkinlik temelli eğitimle desteklenen ve sürekli iyileştirmeyi esas alan bir yönetim modelinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, NFPA 1660 temelinde geliştirilen altı aşamalı bir uygulama modeli önerilmekte; risk analizi, organizasyonel yapı, eğitim matrisi, senaryo tabanlı tatbikat, performans değerlendirme ve kurumsal dayanıklılık bileşenleri bütüncül bir çerçevede sunulmaktadır.

Sonuç olarak çalışma, NFPA 1660'ın yalnızca teknik bir standart değil; kurumların hazırlık seviyesini artıran, müdahale ekiplerinin etkinliğini geliştiren ve çok paydaşlı acil durum yönetiminde ortak bir dil oluşturan stratejik bir rehber olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'de acil durum yönetimi alanında standardizasyon, eğitim kalitesi, kurumlar arası koordinasyon ve sürdürülebilir müdahale kapasitesinin geliştirilmesi açısından NFPA 1660'ın önemli bir referans çerçeve sunduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik acil durum yönetimi, acil müdahale ekipleri, kriz yönetimi, kurumsal dayanıklılık, acil durum eğitimi, iş sürekliliği

INTEGRATED EMERGENCY MANAGEMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF NFPA 1660: PREPAREDNESS, TRAINING, COORDINATION, AND OPERATIONAL COMPETENCE OF EMERGENCY RESPONSE TEAMS

ABSTRACT

Emergency management has become a multidimensional field that must be addressed not only through response capacity at the time of an incident, but also through the interconnected dimensions of risk reduction, preparedness, organization, coordination, continuity, and improvement.

Fires, natural disasters, industrial accidents, hazardous material incidents, and complex multi-incident scenarios affect not only the technical capabilities of emergency response teams but also the level of institutional preparedness and the integrity of the overall management system. In this context, NFPA 1660 emerges as a contemporary standard that integrates emergency management, business continuity, and crisis management within a unified framework. This study examines the systematic approach introduced by NFPA 1660 and evaluates its applicability in relation to the organization of emergency response teams, training requirements, role definitions, coordination structures, exercise processes, and operational competencies. It also discusses the structural contributions that the standard can provide for municipal fire departments, industrial facilities, healthcare institutions, and other critical infrastructure sectors.

The article highlights the need for a management model based on measurable performance criteria, supported by competency-based training, and grounded in continuous improvement. Accordingly, a six-stage implementation model based on NFPA 1660 is proposed, including risk analysis, organizational structure, training matrix, scenario-based exercises, performance evaluation, and institutional resilience. In conclusion, the study argues that NFPA 1660 is not merely a technical standard, but also a strategic guide that strengthens institutional preparedness, enhances the effectiveness of emergency response teams, and supports sustainable and coordinated emergency management in Türkiye.

Keywords: Integrated emergency management, emergency response teams, crisis management, emergency training, institutional resilience

1. GİRİŞ

Günümüz tehlike ortamı; büyük kentsel yangınlar, depremler, sanayi kazaları, tehlikeli madde (HAZMAT) sızıntıları ve çok tehlikeli bileşik senaryolar gibi giderek karmaşıklaşan risklerle şekillenmektedir. Bu riskler, yalnızca anlık müdahale kapasitesini değil; kurumsal hazırlık düzeyini, plan bütünlüğünü, ekip yetkinliğini ve kurumlar arası koordinasyonu da doğrudan sınamaktadır. Belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve kritik altyapılar; tehlike profillerine, kapasitelerine ve yasal yükümlülüklerine göre birbirinden farklı acil durum planları geliştirmekte ve bu durum zaman zaman sistem bütünlüğünü zedelemektedir.

Türkiye'de acil durum yönetimi alanındaki yasal çerçeve son yıllarda önemli ölçüde genişlemiştir. 5902 sayılı AFAD Kanunu, 7126 sayılı Sivil Savunma Kanunu, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, Belediye İtfaiye Yönetmeliği ve BEKRA düzenlemeleri; hazırlık, ekip oluşturma, plan yapma ve tatbikat yükümlülükleri bakımından kayda değer bir normatif taban oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu düzenlemelerin ortak bir program mimarisinde bütünleşip bütünleşmediği ve ekiplerin tanımlanmış görevleri sahada yerine getirebildiğinin nasıl doğrulanacağı soruları yanıtsız kalmaktadır.

Bu boşluğu kapatmak için NFPA 1660 standardı — Standard for Emergency, Continuity, and Crisis Management: Preparedness, Response, and Recovery — tamamlayıcı bir kıyaslama çerçevesi olarak önerilmektedir. Standart; risk, süreklilik, olay yönetimi, tahliye, ön-olay planlama, eğitim ve program değerlendirmesini tek bir bütünleşik yapıda ele alarak dağınık mevzuat yükümlülüklerini ortak bir program çatısına taşıma imkânı sunmaktadır (NFPA, 2024).

Makalenin amacı üç temel eksen üzerine kuruludur: (1) NFPA 1660'ın acil müdahale ekiplerinin organizasyonu, eğitimi, koordinasyonu ve operasyonel yeterliliğine sağladığı sistematik katkıyı ortaya koymak; (2) Türkiye mevzuatı ile NFPA 1660 arasındaki uyum, boşluk ve geliştirme alanlarını analitik bir matris aracılığıyla göstermek; (3) belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve kritik altyapılar için ölçülebilir performans kriterlerine dayalı altı aşamalı bir uygulama modeli önermek.

2. NFPA 1660: BÜTÜNLEŞİK PROGRAM ÇERÇEVESİ

NFPA 1660, önceki standartlar NFPA 1600, NFPA 1616 ve NFPA 1620'yi tek çatı altında birleştirerek acil durum yönetimi, iş sürekliliği ve kriz yönetimi bileşenlerini bütünleşik bir program mimarisinde ele almaktadır. Standardın birleştirme gerekçesi; tekrarlanan hükümleri azaltmak, olası çatışmaları gidermek ve kurumların ortak ölçütler çerçevesinde programlarını yönetmesine olanak tanımaktır (NFPA, 2024).

Standardın program mantığı dört temel evreyi kapsamaktadır. Azaltma evresinde tehdit ve kırılganlık değerlendirmesi yapılır; olayın olasılık veya etkisini düşürecek önlemler seçilir. Hazırlık evresinde plan, görev, kaynak, iletişim, eğitim ve tatbikat düzeni oluşturulur. Müdahale evresinde olay yönetimi, kaynak sevki, iç ve dış ekip koordinasyonu, tahliye ve kriz iletişimi işletilir. İyileştirme evresinde ise kritik işlevlerin geri kazanılması, faaliyet sürekliliği ve programın olay dersleriyle güncellenmesi gerçekleştirilir.

NFPA'nın açıkça belirttiği üzere standart, yalnızca bir müdahale planı değildir: programların değerlendirilmesi, prosedürlerin doğrulanması ve personelin gerçek kriz koşullarına hazırlanması için ortak bir ölçüt çerçevesi sunar. Tatbikatlar bu çerçevede hem prosedürlerin geçerliliğini sınamanın hem de sistemik eksiklikleri önceden tespit etmenin birincil aracı konumundadır.



Şekil 1: NFPA 1660 Dört Evreli Program Döngüsü

3. ULUSLARARASI STANDARTLARLA KARŞILAŞTIRMA

NFPA 1660'ın küresel konumunu netleştirmek için başlıca uluslararası çerçevelerle karşılaştırmalı bir okuma gerekmektedir. Bütünleşik yönetim anlayışı, standartlar arasındaki tamamlayıcı ilişkinin kavranmasıyla anlam kazanmaktadır.

Tablo 1. Uluslararası Acil Durum Yönetimi Çerçevelerinin Karşılaştırması

Çerçeve	Birincil İşlev	AME'ye Katkısı	Sınırı / NFPA 1660 ile İlişkisi
NFPA 1660	Acil durum, süreklilik ve krizi bütünleştiren program standardı	Plan, eğitim, tatbikat, tahliye, ön-olay planı ve iyileştirmeyi tek sistemde toplar	Kurumun program sahipliğini üstlenmesini gerektirir
ICS / NIMS	Ölçeklenebilir olay yönetimi ve ortak müdahale düzeni	Komuta, görev paylaşımı ve kurumlar arası koordinasyon	Süreklilik ve iyileştirme yönetimini tek başına kapsamaz
ISO 22320:2018	Her türde olay için süreç, rol ve ortak yönlendirme rehberi	Tek veya çok kurumlu olay koordinasyonu	Ağırlıklı olarak müdahale aşamasına odaklıdır
ISO 22301:2019	İş sürekliliği yönetim sistemi (BCMS)	Kritik faaliyetlerin korunması, izlenmesi ve iyileştirilmesi	Yönetim sistemi yaklaşımıdır; NFPA 1660'ın iyileştirme evresini tamamlar

Kaynak: NFPA (2024); ISO (2018, 2019); FEMA (2021)

ICS/NIMS, müdahale aşamasındaki komuta ve koordinasyonun aracıyken; NFPA 1660, tüm hazırlık programını kapsayan üst çerçevedir. ISO 22301 ise NFPA 1660'ın iyileştirme ve süreklilik boyutunu kurumsal yönetim sistemine bağlamak için tamamlayıcı biçimde kullanılabilir.

4. TÜRKİYE ACİL DURUM MEVZUATI

Türkiye'de acil durum yönetimini düzenleyen normatif çerçeve, farklı ölçek ve tehlike alanlarını kapsayan çok sayıda yasal ve idari düzenlemeden oluşmaktadır.

5902 Sayılı AFAD Kanunu, afet kaynaklarının ulusal düzeyde yönetimi ve müdahale koordinasyonunun çerçevesini belirlemektedir. 7126 Sayılı Sivil Savunma Kanunu, düşman saldırıları, doğal afetler ve büyük yangınlar karşısında koruyucu ve kurtarıcı faaliyetleri düzenlemekte; görevlendirilenlerin yılda 72 saati aşmamak üzere eğitim ve tatbikata katılmasını zorunlu kılmaktadır. Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), ulusal müdahale organizasyonunun koordinasyon belgesi olup çalışma gruplarının rollerini, sorumluluklarını ve koordinasyon ilkelerini belirlemektedir.

İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik (28681/2013; 31615/2021 değişikliği), tüm işyerlerinde söndürme, kurtarma, koruma ve ilk yardım ekiplerinin oluşturulmasını, yazılı plan hazırlanmasını ve yılda en az bir tatbikat yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Belediye İtfaiye Yönetmeliği (26326/2006; 31693/2021

kapsamlı değişiklik), belediye itfaiyelerini TAMP kapsamında konumlandırmakta; KBRN müdahalesi ve nüfusu 50.000 üzerindeki yerlerde kentsel arama-kurtarma birimi kurulmasını öngörmektedir. BEKRA Yönetmeliği (30702/2019) ise endüstriyel tesisler için dâhili acil durum planı zorunluluğunu düzenlemektedir.

Bu tablo; belediye itfaiyelerinin TAMP ile, işyerlerinin ayrı bir yönetmelikle, büyük endüstriyel kuruluşların BEKRA çerçevesiyle yönetildiğini göstermektedir. Sonuç olarak farklı kurumsal yapılar için ortak bir program mimarisi ve paylaşılan bir yeterlilik dili henüz oluşturulamamıştır.

5. GAP ANALİZİ: TÜRKİYE MEVZUATI İLE NFPA 1660

GAP analizi; Türkiye'deki mevcut acil durum mevzuatının "ne durumda olduğu" ile NFPA 1660 standardının "nasıl olunması gerektiğini" öngördüğü arasındaki farkları sistematik biçimde ortaya koymak amacıyla uygulanmıştır. Bu doğrultuda 5902 sayılı AFAD Kanunu, 7126 sayılı Sivil Savunma Kanunu, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, Belediye İtfaiye Yönetmeliği ve BEKRA düzenlemeleri; bütünleşik program mimarisi, risk değerlendirmesi, ekip organizasyonu, eğitim ve yeterlilik doğrulama, tatbikat döngüsü, performans değerlendirme, kurumlar arası koordinasyon ile süreklilik ve iyileştirme olmak üzere sekiz temel bileşen üzerinden NFPA 1660 çerçevesiyle karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda Türk mevzuatının ekip rolleri ve tatbikat yükümlülüğü gibi alanlarda kayda değer bir normatif taban sunduğu; bununla birlikte ekip yetkinliğinin ölçülebilir kriterlerle doğrulanması, tatbikat bulgularının düzeltici faaliyete sistematik biçimde dönüştürülmesi ve kurumlar arası ön-olay planlama konularında yapısal boşlukların bulunduğu tespit edilmiştir. Bu boşlukların kapatılmasına yönelik tamamlayıcı öneriler, NFPA 1660'ın referans çerçevesi olarak benimsenmesi temeline dayandırılmıştır.

Tablo 2. Türkiye Mevzuatı – NFPA 1660 GAP Analiz Matrisi

NFPA 1660 Bileşeni	Türkiye'deki Normatif Karşılık	Kapsanan Kurumlar	Uyum	Tespit Edilen Boşluk	Tamamlayıcı Öneri
Bütünleşik Program Mimarisi	5902, TAMP ve sektörel düzenlemeler	Tüm kurumlar (parçalı)	Kısmi	Kurum, tesis ve belediye planları ortak bir program mimarisinde birleşmemektedir	Ortak program sahipliği ve yönetim gözden geçirmesi
Risk Değerlendirmesi	İşverenin muhtemel acil durumları belirleme yükümlülüğü	İşyerleri (tüm)	Orta	Tehdit analizi ile görev ve eğitim ihtiyacı arasındaki bağ çoğu zaman kurulmamaktadır	Her senaryo için görev-kaynak-eğitim matrisi
Ekip Organizasyonu & Görevler	Söndürme, kurtarma, koruma, ilk yardım ekipleri	İşyerleri; belediye itfaiyesi	Yüksek	Unvan verilmesi operasyonel yeterlilik kanıtı olarak görülebilmektedir	Rol bazlı bilgi-beceri-davranış matrisi
Eğitim & Yeterlilik Doğrulama	Çalışan bilgilendirmesi ve ekip eğitimi	İşyerleri; KBRN için itfaiye	Orta	Eğitim çıktılarının ölçülebilir performansla doğrulanması düzenlenmemiştir	Teorik sınav + beceri gösterimi + senaryo değerlendirmesi
Tatbikat Döngüsü	Yılda en az bir tatbikat	İşyerleri (çoğu)	Orta	Sıklık şartı, tatbikat kapsamı ve başarı ölçütünü güvence altına almaz	Masa başından tam ölçeğe ilerleyen çok yıllı döngü
Performans Değerlendirme & AAR	Plan ve tatbikat yükümlülüğü	Tüm işyerleri	Kısmi	Düzeltici faaliyetin kapatılmasının izlenmesi açık değildir	Sorumlu, süre ve yeniden test kaydı içeren AAR sistemi
Kurumlar Arası Koordinasyon	TAMP grupları; itfaiyenin TAMP görevi	Belediyeler; büyük tesisler	Orta	Tesis–belediye ortak komuta prosedürü uygulamada değişkenlik göstermektedir	Ortak terminoloji, ön-olay planı ve müşterek tatbikat
Süreklilik & İyileştirme	TAMP ve BEKRA dâhili planları	Büyük endüstriyel tesisler	Kısmi	Kritik işlevlerin geri kazanımı ekip planlarından kopabilmektedir	ISO 22301 uyumlu süreklilik bağlantısı

GAP analizi; Türk mevzuatının ekip oluşturma ve tatbikat yükümlülükleri bakımından kayda değer bir normatif taban sağladığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte üç kritik boşluk belirginleşmektedir: ekip yetkinliğinin ölçülebilir kriterlere göre doğrulanması, tatbikat bulgularının sistematik biçimde kapatılması ve kurumlar arası ön-olay planlama.

6. ACİL MÜDAHALE EKİPLERİ İÇİN ROL BAZLI YETERLİLİK MATRİSİ

Acil müdahale ekiplerinin etkinliği; yalnızca ekip oluşturulmuş olmasına değil, her ekip üyesinin üstlendiği görevi gerçek olay koşullarında yerine getirebildiğinin ölçülebilir biçimde kanıtlanmasına bağlıdır. Bu bağlamda rol bazlı yeterlilik matrisi; NFPA 1660'ın program doğrulama yaklaşımı ile Türk mevzuatının ekip yapısını bir araya getirerek her görev için "ne bilmesi", "ne göstermesi" ve "kiminle koordine etmesi" gerektiğini ayrıştıran analitik bir araç olarak tasarlanmıştır.

Matris; olay yöneticisi, söndürme, kurtarma, koruma/tahliye, ilk yardım ve süreklilik/iyileştirme ekiplerini kapsayacak biçimde kurgulanmış; her rol için temel bilgi çıktısı, uygulamalı yeterlilik, koordinasyon beklentisi ve doğrulama göstergesi olmak üzere dört boyut tanımlanmıştır. Böylece "ekip var mı?" sorusundan "ekip görevi yerine getirebiliyor mu ve bu nasıl kanıtlanıyor?" sorusuna geçiş sağlanmakta; eğitim planlaması, tatbikat tasarımı ve performans değerlendirmesi için ortak bir referans çerçevesi oluşturulmaktadır. Her role ait ölçülebilir çıktılar aşağıdaki tablo aracılığıyla tanımlanmaktadır.

Tablo 3. Acil Müdahale Ekipleri Rol Bazlı Yeterlilik Matrisi

Rol	Temel Bilgi Çıktısı	Uygulamalı Yeterlilik	Koordinasyon Çıktısı	Doğrulama Göstergesi
Olay Yöneticisi / Ekip Lideri	Plan, riskler, yetki sınırları, ICS terminolojisi	Önceliklendirme, kaynak tahsisi, IAP oluşturma	Dış kurumlarla ortak yönlendirme; komuta devri	Senaryo değerlendirmesi, karar kaydı, devir süresi
Söndürme Ekibi	Yangın dinamikleri, tesis tehlike profili, teçhizat sınıfları	Uygun söndürücü ve ekipmanla ilk müdahale	Belediye itfaiyesine bilgi aktarımlı devir	Müdahale süresi, güvenli alan tesis, devir eksiksizliği
Kurtarma Ekibi	Arama alanı, tahliye rotaları, kurtarma teknikleri	Arama, kurtarma ve güvenli taşıma	İlk yardım ve dış kurtarma birimiyle koordinasyon	Kayıp kişi hesabı doğruluğu, görev tamamlanma süresi
Koruma / Tahliye Ekibi	Kaçış yolları, toplanma düzeni, özel ihtiyaç grupları	Yönlendirme, panik kontrolü, bölge sayımı	Dış acil servislerle irtibat; toplanma alanı yönetimi	Sayım doğruluğu, tahliye tamamlanma süresi
İlk Yardım Ekibi	Yaralanma öncelikleri, triage protokolleri, yetki sınırı	Yetkiye uygun ilk yardım uygulaması	112 ve sağlık ekiplerine yapılandırılmış devir	Müdahale süresi, devir bilgi eksiksizliği
Süreklilik / İyileştirme Ekibi	Kritik faaliyetler, bağımlılık haritası, RTO/RPO hedefleri	Alternatif çalışma yöntemlerini devreye alma	Operasyon ve üst yönetim arasında bilgi akışı	RTO/RPO hedefine ulaşma, kritik işlev geri kazanım süresi

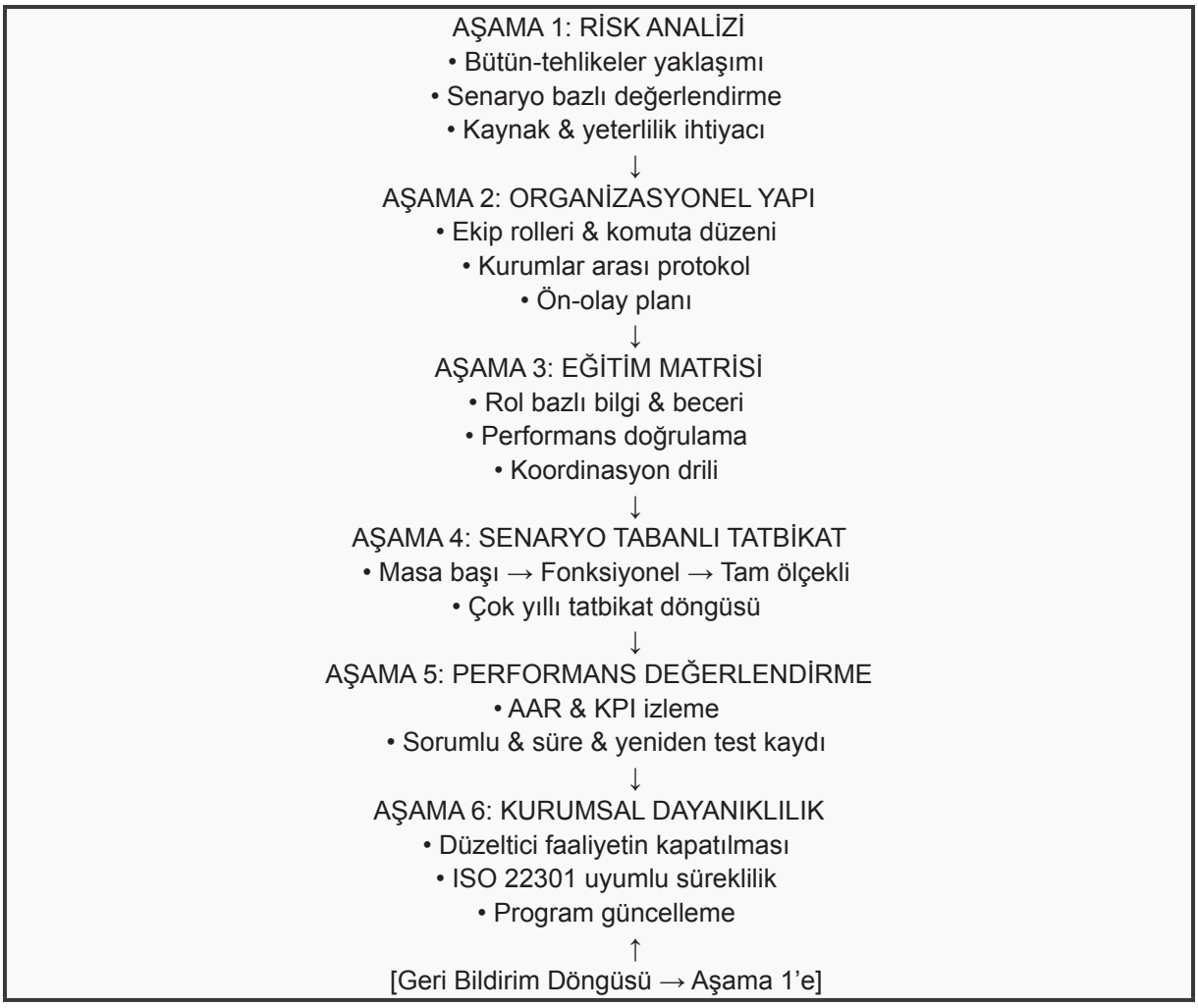
Not: RTO: Recovery Time Objective / RPO: Recovery Point Objective

Bu matris; Türk mevzuatındaki ekip unvanlarını operasyonel yeterlilik kanıtına bağlamayı hedeflemekte ve NFPA 1660'ın program doğrulama yaklaşımıyla örtüşmektedir. Belediye itfaiyelerinde olay yöneticisi ve söndürme ekipleri, endüstriyel tesislerde HAZMAT ve süreklilik ekipleri, sağlık kuruluşlarında ise tahliye ve ilk yardım ekipleri öncelikli odak noktaları olarak öne çıkmaktadır.

7. ALTI AŞAMALI BÜTÜNLEŞİK UYGULAMA MODELİ

NFPA 1660 temelli altı aşamalı model; risk analizi, organizasyonel yapı, eğitim matrisi, senaryo tabanlı tatbikat, performans değerlendirme ve kurumsal dayanıklılık bileşenlerini döngüsel ve birbirine bağlı bir çerçevede sunmaktadır. Model, her aşamanın bir öncekinin çıktısını girdi olarak aldığı ve son aşamanın geri bildirim döngüsüyle yeniden ilk aşamaya beslendiği kapalı bir sistem mantığına dayanmaktadır. Bu yaklaşım; acil durum yönetimini tek seferlik bir plan hazırlama faaliyeti olarak değil, kurumun tehlike profiline, kaynak kapasitesine ve geçmiş tatbikat bulgularına göre sürekli güncellenen ve olgunlaşan bir yönetim programı olarak konumlandırmaktadır.

Modelin temel özgünlüğü, NFPA 1660'ın program bütünlüğü anlayışını Türkiye'deki kurumsal gerçeklikle—belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve kritik altyapılar— örtüşecek biçimde operasyonelleştirmesidir. Her aşama; soyut bir standart gereksinimi olmaktan çıkarılarak kurumun kendi tehlike senaryolarına, ekip yapısına ve yasal yükümlülüklerine uyarlanabilir somut adımlara dönüştürülmüştür. Böylece model; "planımız var mı?" sorusundan "planımız çalışıyor mu, ekiplerimiz hazır mı ve bunu nasıl kanıtlıyoruz?" sorularına geçişi sağlayan ölçülebilir ve izlenebilir bir uygulama çerçevesi sunmaktadır.



Şekil 2: NFPA 1660 Temelli Altı Aşamalı Bütünleşik Uygulama Modeli

Aşama 1 — Risk Analizi: Bütün-tehlikeler yaklaşımıyla tehdit ve zafiyet değerlendirmesi yapılır. Belediye itfaiyeleri için deprem, yangın ve KBRN; endüstriyel tesisler için proses tehlikeleri ve HAZMAT; sağlık kuruluşları için kitlesel yaralı ve altyapı çökmesi senaryoları kurumsal risk profilini şekillendirir.

Aşama 2 — Organizasyonel Yapı: Ekip rolleri ve komuta düzeni, senaryo bazlı risk analizine dayandırılır. Belediye itfaiyesi ile tesis ekipleri arasında müşterek ön-olay planı hazırlanır; ortak terminoloji ve irtibat noktaları tanımlanır.

Aşama 3 — Eğitim Matrisi: Tablo 3'teki rol bazlı yeterlilik matrisine göre teorik eğitim, beceri istasyonu uygulamaları ve koordinasyon drilleri düzenlenir. Yalnızca katılım değil, ölçülebilir performans göstergeleri doğrulama ölçütü olarak kullanılır.

Aşama 4 — Senaryo Tabanlı Tatbikat: Masa başı tatbikatından başlayarak fonksiyonel ve tam ölçekli tatbikata ilerleyen çok yıllı bir döngü uygulanır. Her tatbikat, önceki döngünün düzeltici faaliyetini ve güncel risk profilini yansıtan senaryo tasarımına dayanır.

Aşama 5 — Performans Değerlendirme: Tatbikat sonrası değerlendirme (AAR) raporları; sorumlusu, tamamlanma tarihi ve yeniden test tarihi belirlenmiş düzeltici faaliyet planıyla sonuçlandırılır. Temel performans göstergeleri sistematik olarak izlenir: alarm–toplama–ilk karar–tahliye tamamlama–dış birime devir.

Aşama 6 — Kurumsal Dayanıklılık: Düzeltici faaliyetin kapatılması izlenir ve doğrulanır. İyileştirme bulguları bir sonraki risk analizine ve program güncellemesine beslenir. Kritik işlevlerin geri kazanımı ISO 22301 uyumlu süreklilik planlarıyla ilişkilendirilir.

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, NFPA 1660'ın Türkiye acil durum yönetimi sistemine kazandırabileceği üç temel katkıyı ortaya koymaktadır.

Birincisi, Türk mevzuatı ekip oluşturma ve tatbikat yükümlülükleri bakımından önemli bir normatif taban sunmakla birlikte, GAP analizi kurumsal kırılımlar arasındaki program mimarisi eksikliğini açıkça ortaya koymaktadır. Belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve kritik altyapılar farklı mevzuat çerçevelerine tabi olmakta; bu durum çok paydaşlı senaryolarda koordinasyon açığına yol açmaktadır. NFPA 1660'ın bütünleşik program yaklaşımı bu açığı kapatmak için doğrudan kullanılabilir bir çerçeve sunmaktadır.

İkincisi, yetkinlik temelli eğitimle desteklenen model zorunluluğu, Türk mevzuatındaki en kritik boşlukla örtüşmektedir: ekip unvanlarının operasyonel yeterlilik kanıtıyla eşleştirilmemesi. Rol bazlı yeterlilik matrisi ve ölçülebilir performans göstergeleri bu boşluğu kapatmanın pratik ve kuruma özgü araçlarıdır.

Üçüncüsü, yılda bir tatbikat yükümlülüğü tek başına kapsam, derinlik ve başarı ölçütünü karşılamamaktadır. Masa başından tam ölçeğe ilerleyen çok yıllı tatbikat döngüsü ve AAR bulgularının sistematik biçimde düzeltici faaliyete dönüştürülmesi, gerçek anlamda hazırlık güvencesinin ön koşullarıdır.

Sonuç olarak NFPA 1660, Türkiye'de standardizasyonun güçlendirilmesi, eğitim kalitesinin artırılması, kurumlar arası koordinasyonun derinleştirilmesi ve sürdürülebilir müdahale kapasitesinin geliştirilmesi açısından önemli bir referans çerçeve sunmaktadır. Standardın belediye itfaiyeleri, endüstriyel tesisler, sağlık kuruluşları ve kritik altyapılar için tamamlayıcı kıyaslama çerçevesi olarak benimsenmesi; mevzuat boşluklarını kapatmak, kurumsal hazırlığı ölçülebilir kılmak ve çok paydaşlı acil durum yönetiminde ortak bir operasyonel dil oluşturmak bakımından stratejik bir adım niteliği taşımaktadır.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in güncel versiyonu; acil durum ekiplerinin oluşturulmasını, tahliye planlarının hazırlanmasını ve yangın güvenliği sistemlerinin tesisini düzenlemekle birlikte, ekip üyelerinin bu görevleri yerine getirebilecek yeterlilikte olduğunu periyodik olarak doğrulayan, ölçülebilir başarı kriterlerine bağlı bir eğitim ve tatbikat zorunluluğu içermemektedir. 2026 yılında taslak aşamasında olduğu bildirilen yenileme çalışmalarının bu boşluğu kapatma fırsatı sunduğu değerlendirilmektedir; ancak kamuoyuna yansıyan bilgiler incelendiğinde, taslağın ağırlıklı olarak yapısal ve teknik yangın güvenliği gereksinimlerine odaklandığı, insan faktörünü —yani acil müdahale ekiplerinin hazırlık düzeyi, eğitim sürekliliği ve operasyonel doğrulama mekanizmalarını— yeterince merkeze almadığı görülmektedir. Oysa NFPA 1660'ın ortaya koyduğu üzere, fiziksel güvenlik tedbirlerinin etkinliği büyük ölçüde bu tedbirleri işletecek ekiplerin sürekli hazırlıklı olmasına bağlıdır. Bu nedenle söz konusu yenileme sürecinde; rol bazlı yeterlilik tanımları, kademeli tatbikat döngüsü, tatbikat sonrası düzeltici faaliyet izleme mekanizması ve performans değerlendirme kriterleri gibi bileşenlerin bina yangın güvenliği mevzuatına entegre edilmesi, yalnızca teknik uyum değil gerçek anlamda kurumsal hazırlık güvencesi açısından zorunlu bir adım olarak öne çıkmaktadır.

9. KAYNAKLAR

[1] NFPA (2024). NFPA 1660: Standard for Emergency, Continuity, and Crisis Management: Preparedness, Response, and Recovery. National Fire Protection Association. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1660-standard-development/1660

[2] NFPA (2024). What is the New NFPA 1660? NFPA Blog. https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/blogs/2024/04/25/what-is-the-new-nfpa-1660

[3] NFPA (2024). NFPA 1660 Emergency Revision Record Summary. https://docinfofiles.nfpa.org/files/AboutTheCodes/1660/1660_ERRS_A2027_MEP_AAA_FD_CIReport.pdf

[4] T.C. Resmî Gazete. 5902 Sayılı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun. https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5902.pdf

[5] T.C. Resmî Gazete. 7126 Sayılı Sivil Savunma Kanunu. https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.3.7126.pdf

[6] T.C. Resmî Gazete. Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP). https://www.mevzuat.gov.tr

[7] T.C. Resmî Gazete. İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik, Sayı: 28681, 18 Haziran 2013; Sayı: 31615, 1 Ekim 2021.

[8] T.C. Resmî Gazete. Belediye İtfaiye Yönetmeliği Değişikliği, Sayı: 31693, 18 Aralık 2021.

[9] T.C. Resmî Gazete. Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (BEKRA), Sayı: 30702, 2 Mart 2019.

[10] ISO (2019). ISO 22301:2019 — Security and Resilience: Business Continuity Management Systems. https://www.iso.org/standard/75106.html

[11] ISO (2018). ISO 22320:2018 — Security and Resilience: Emergency Management — Guidelines for Incident Management. https://www.iso.org/standard/67851.html

[12] FEMA (2021). National Incident Management System (NIMS). Federal Emergency Management Agency. https://training.fema.gov/nims/

[13] Curnin, S., Owen, C., Paton, D., Trist, C., & Parsons, D. (2015). A theoretical framework for negotiating the path of emergency management multi-agency coordination. Applied Ergonomics, 47, 300–307.

[14] Kowalski-Trakofler, K. M., Vaught, C., & Scharf, T. (2003). Judgment and decision making under stress: An overview for emergency managers. International Journal of Emergency Management, 1(3), 278–289.

[15] Morin, J., Doyle, M., Trainor, J., & Jebelli, H. (2020). After action review of emergency management exercises: A systematic review. International Journal of Disaster Risk Reduction, 51, PMC7709486.

[16] AIDR (2024). Training to Improve Emergency Management Decision-Making: What the Research Literature Tells Us. https://knowledge.aidr.org.au

[17] Industrial Rescue International (2023). From Fire Brigades to Integrated Risk Management: The Evolution of Industrial Emergency Response. https://www.industrialrescue.com

[18] Hagerty Consulting (2022). Training and Exercise Evaluation Methodology. https://hagertyconsulting.com

10. KISA ÖZGEÇMİŞ

İzmir Büyükşehir Belediyesi Afet İşleri ve Risk Yönetimi Dairesi Başkanlığı›nda görev yapan yazar, 20 yılı aşkın itfaiyecilik ve acil durum yönetimi deneyimine sahiptir. İtfaiye Eğitim Şube Müdürlüğü görevini fiilen yürütmüş; NFPA 1660 Acil Durum, Süreklilik ve Kriz Yönetimi programını uluslararası düzeyde tamamlayarak sertifika almıştır. Yangın güvenliği, kurumsal hazırlık, KBRN müdahalesi ve acil müdahale ekip eğitimleri alanlarında ulusal ve uluslararası katılımlı çok sayıda sempozyum, kongre ve çalıştayda bildiri sunmuştur. Sahada kazandığı operasyonel deneyimi, afet yönetimi politikası ve eğitim tasarımı çalışmalarına entegre etmektedir.

YANGINLARDA ALTIN DAKİKA: AKTİF SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN HAYATİ ROLÜ

Gizem Ezgi SEREYİM

ÖZET

Yangın, yapı güvenliğini tehdit eden en kritik afetlerden biri olup, meydana geldiği ilk anlardan itibaren kontrol altına alınamadığında büyük can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Yangının başlangıç anı, literatürde "altın dakika" olarak ifade edilmekte olup, bu kısa zaman dilimi yangının büyümeden kontrol altına alınabilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Bu süreçte gerçekleştirilen doğru ve hızlı müdahaleler, yangının gelişimini doğrudan etkileyerek küçük bir olayın büyük bir felakete dönüşmesini engelleyebilmektedir.

Aktif yangın söndürme sistemleri; sprinkler sistemleri, yangın dolapları ve otomatik algılama-alarm sistemleri aracılığıyla bu kritik zaman diliminde devreye girerek yangına anında müdahale edilmesini sağlar. Bu sistemler, yalnızca teknik bir donanım olmanın ötesinde, insanların yaşamını koruyan ve yapıların ayakta kalmasını sağlayan bir güvenlik mekanizmasıdır.

Bu çalışmada, aktif yangın söndürme sistemlerinin etkinliği, özellikle ruhsatlandırma ve denetim süreçlerinde karşılaşılan eksiklikler değerlendirilmiştir. Sahada yapılan gözlemler, sistemlerin projelendirme aşamasında yeterince doğru planlanmaması, uygulama hataları ve periyodik bakım eksikliklerinin, altın dakika içerisinde beklenen performansın sağlanamamasına neden olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yangın güvenliğinin yalnızca sistem kurulumundan ibaret olmadığı; doğru tasarım, düzenli bakım ve etkin denetim ile bir bütün olarak ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Altın dakika içerisinde etkin şekilde çalışan sistemler, bir yangının kaderini belirleyerek can ve mal kayıplarını önleyebilmekte, afetlerin etkisini en aza indirebilmektedir. Bu nedenle yangın güvenliğinde önleyici yaklaşımın benimsenmesi, sürdürülebilir ve güvenli yapılaşmanın temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Yangın güvenliği, aktif yangın söndürme sistemleri, altın dakika, sprinkler sistemleri, yangın algılama ve alarm sistemleri,

THE GOLDEN MİNUTE İN FİRES: THE VİTAL ROLE OF ACTİVE FİRE SUPPRESSİON SYSTEMS

Gizem Ezgi SEREYİM

ABSTRACT

Fire is one of the most critical hazards threatening building safety, and if not controlled from the very first moments, it can lead to significant loss of life and property. The initial stage of a fire is referred to in the literature as the "golden minute," a short yet crucial period during which the fire can be contained before it grows uncontrollably. Timely and appropriate interventions during this phase directly influence the course of the fire and can prevent a minor incident from turning into a major disaster.

Active fire suppression systems, such as sprinkler systems, fire cabinets, and automatic detection and alarm systems, play a vital role by enabling immediate intervention during this critical time frame. These systems are not merely technical installations but essential safety mechanisms that protect human life and help maintain the structural integrity of buildings.

In this study, the effectiveness of active fire suppression systems is evaluated, particularly focusing on deficiencies encountered during licensing and inspection processes. Field observations indicate that inadequ-

ate design during the planning phase, application errors, and lack of periodic maintenance significantly hinder system performance within the golden minute.

As a result, it is understood that fire safety should not be considered solely as system installation; rather, it must be addressed holistically through proper design, regular maintenance, and effective inspection. Systems that function effectively within the golden minute can determine the outcome of a fire, preventing loss of life and property and minimizing disaster impacts.

Keywords: Fire safety, active fire suppression systems, golden minute, sprinkler systems, fire detection and alarm systems

1. GİRİŞ

Yangın, yapı güvenliğini ve insan yaşamını tehdit eden, kısa sürede gelişerek ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilen önemli bir tehlikedir. Yangının meydana geldiği ilk andan itibaren kontrol altına alınamaması; ısı, alev ve dumanın hızla yayılmasına, tahliye koşullarının zorlaşmasına ve müdahalenin güçleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yangın güvenliğinde yalnızca müdahalenin gerçekleştirilmesi değil, müdahalenin ne kadar erken gerçekleştirildiği de büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada "altın dakika" kavramı, yangının başlangıç aşamasında erken algılama, uyarı ve müdahale ile yangının kontrol edilebilirliğinin korunabildiği kritik zaman aralığını ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu süreçte otomatik algılama ve alarm sistemleri, sprinkler sistemleri ve yangın dolapları gibi aktif yangın güvenlik sistemleri, yangının gelişimini sınırlandırarak güvenli tahliye ve profesyonel müdahale için zaman kazandırmaktadır.

Ancak aktif sistemlerin yapıda bulunması, yangın anında beklenen performansı göstereceği anlamına gelmemektedir. Doğru projelendirme ve uygulama, uygun test ve kabul süreçleri, düzenli bakım ve etkin denetim sistemlerin güvenilirliği açısından belirleyicidir. Bu süreçlerde meydana gelen eksiklikler, yangının ilk dakikalarında beklenen müdahalenin gerçekleşmesini engelleyerek kritik zamanın altın dakikanın kaybedilmesine neden olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; "altın dakika" yaklaşımı çerçevesinde aktif yangın güvenlik sistemlerinin yangının başlangıç aşamasındaki rolünü incelemek, sistemlerin etkinliğini etkileyen projelendirme, uygulama, bakım ve denetim sorunlarını değerlendirmek ve yangın güvenliğinde zamanın etkin yönetimine yönelik bütüncül bir yaklaşım ortaya koyarak yangın kültürü oluşturmaktır.

2. YANGIN VE OLUŞTURUĞU RİSKLER

Yangın, yanıcı bir maddenin ısı, oksijen ve uygun koşulların etkisiyle kontrolsüz biçimde yanması sonucu ortaya çıkan; ısı, alev, duman ve çeşitli yanma ürünlerinin meydana geldiği dinamik bir olaydır. Yangının tehlikesi yalnızca ortaya çıkan alevden kaynaklanmamakta, yangının gelişim süreci içerisinde açığa çıkan ısının, dumanın ve toksik gazların yapı içerisinde hızla yayılmasıyla birlikte çok boyutlu bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle yangın, meydana geldiği andan itibaren gelişimi ve çevresine etkisi sürekli değişen bir olay olarak değerlendirilmelidir.

Yangının oluşturduğu risklerin başında insan yaşamının tehlikeye girmesi gelmektedir. Yangın sırasında açığa çıkan ısı ve yanma ürünleri, insanların güvenli şekilde hareket edebilme ve yapıyı terk edebilme kapasitesini doğrudan kaçışı etkileyebilmektedir. Özellikle duman; görüş mesafesini azaltması, kaçış yollarının kullanılmasını güçleştirmesi ve içerdiği toksik gazlar nedeniyle ciddi bir yaşam güvenliği tehdidi oluşturmaktadır. NIST (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) tarafından yapılan çalışmalar, yanma ürünlerinin yüksek konsantrasyonlarda insanlarda etkisizleşmeye yol açabileceğini ve duman ile gazların güvenli kaçış yollarının bulunmasını ve kullanılmasını zorlaştırabildiğini ortaya koymaktadır (Gann ve Bryner, 2008). (NIST)

Yangının gelişimi sırasında ortaya çıkan tehlikenin boyutu, yalnızca dumanın miktarıyla değil, yangının açığa çıkardığı ısı miktarı ve yayılma hızıyla da ilişkilidir. Isı açığa çıkış hızı (Heat Release Rate-HRR), yangın tehlikesinin karakterize edilmesinde temel parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Yangının büyümesiyle birlikte açığa çıkan ısı miktarının artması; çevredeki malzemelerin tutuşmasını hızlandırarak yangının daha geniş bir alana yayılmasına ve yangın koşullarının giderek ağırlaşmasına neden olabilmektedir. Literatürde HRR Heat Release Rate (Isı Açığa Çıkış Hızı), yangın tehlikesinin değerlendirilmesinde en önemli değişkenlerden biri olarak ele alınmakta ve yangının gelişimini anlamada temel bir parametre olarak kullanılmaktadır (Babrauskas, 1992). (Sciencedirect.com)

Yangının belirli bir gelişim aşamasında, ortam koşullarının ani biçimde değişmesine neden olabilecek flashover (tam gelişmiş yangına geçiş) olayı meydana gelebilmektedir. Oda içindeki sıcaklık genellikle 500–600 °C seviyelerine ulaştığında, odadaki açıkta bulunan yanıcı yüzeylerin çoğu aynı anda tutuşur. Flashover, büyüyen yangından tam gelişmiş yangına hızlı geçiş olarak tanımlanmakta ve yangın dinamiğinde kritik bir dönüm noktası oluşturmaktadır. Bu aşamaya ulaşıldığında yangının kontrol edilmesi ve yapı içerisindeki güvenli koşulların korunması önemli ölçüde zorlaşmaktadır. Güncel deneysel çalışmalar, flashover oluşumunun yakıt yükü, havalandırma koşulları, bölmenin geometrisi ve yangının ısı açığa çıkış karakteristiği gibi birçok değişkenden etkilendiğini göstermektedir (Li vd., 2025). (Sciencedirect.com)

Yangının etkileri insan yaşamıyla sınırlı kalmamakta, yapının fiziksel bütünlüğünü ve ekonomik değerini de tehdit etmektedir. Yangının büyümesiyle birlikte taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmekte, yapı içerisindeki diğer bölümlere ve komşu alanlara yangın geçişi meydana gelebilmektedir. Bunun yanında yangın yükünün ve ısı açığa çıkış hızının artması, yangının gelişim sürecini hızlandırarak yapının yangına maruz kalma düzeyini artırabilmektedir. Özellikle yüksek yangın yüküne sahip yapılarda yangının gelişiminin ve ısı açığa çıkış hızının belirlenmesi, yangın riskinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Denetimlerde mutlaka yangın yükü de hesaplanmalıdır. (Li vd., 2014). (Sciencedirect.com)

3. "ALTIN DAKİKA" KAVRAMI

Yangın, başladığı anda sabit kalan bir olay değildir; çevresine ısı aktararak büyüyen ve uygun koşullarda kendi gelişimini hızlandıran dinamik bir süreçtir. Başlangıçta küçük ve kontrol edilebilir görünen bir yangın, geçen her saniyeyle birlikte daha fazla ısı ve duman üreterek çevresindeki malzemelerin tutuşmasını hızlandırabilir. Yanan malzemenin cinside yangının gelişiminde ısı açığa çıkış hızı (HRR) bu sürecin değerlendirilmesinde önemli bir parametredir (Babrauskas, 1992).

Yangında kritik olan yalnızca yangının büyüklüğü değil, büyüme hızıdır. Yangın büyüdükçe sıcaklık ve duman miktarı artar, görüş mesafesi azalır ve insanların güvenli şekilde tahliye olabilmesi zorlaşır. Yangının ileri aşamalarından biri olan flashover, yangının bulunduğu hacmi kısa sürede çok daha ağır koşullara taşıyan kritik bir geçiş noktasıdır. Bu nedenle yangınla mücadelede amaç, yangının büyümesini beklemek değil, henüz küçükken kontrol altına almaktır. Yangını henüz küçükken kontrole almak ise denetimlerde tehlike avı yaparak ve binaların yangından korunması hakkında yönetmeliğe göre sağlanmaktadır.

"altın dakika", yangının başlangıç aşamasında erken algılama, uyarı ve müdahale ile yangının kontrol edilebilirliğinin korunabildiği kritik zaman aralığı olarak ele alınmaktadır. Bu süre sabit bir dakika sayısını ifade etmemekte; yangının yakıtı, havalandırması, geometrisi ve çevresel koşullarına göre değişmektedir. Ancak temel gerçek değişmemektedir: Yangına ne kadar erken müdahale edilirse, yangının büyümesi o kadar fazla sınırlandırılabilir. Acil durum ekiplerinin müdahalesi her zaman son çaredir.

Üstelik kazanılan zaman yalnızca yangın için değil, insan yaşamı için de belirleyicidir. Alarmın algılanması, tehlikenin değerlendirilmesi ve tahliyeye başlanması ve itfaiyenin olay yerine gelmesi oldukça zaman alarak yangını büyütebilir. NIST çalışmalarında bu "ön tahliye süresi"nin, insanların yangın sırasında güvenli şekilde binayı terk edebilmesinde önemli bir bileşen olduğu gösterilmektedir fakat NIST, ön tahliye süresi (pre-evacuation time veya pre-movement time) için tek bir sabit süre vermez. Bunun nedeni, bu sürenin bina türüne, kullanıcı profiline, alarm sistemine, yangının fark edilme şekline ve insan davranışına bağlı olarak büyük ölçüde değişmesidir. (Reneke, 2013; Lovreglio vd., 2019).

Bu nedenle yangında her saniye aynı değildir. Kaybedilen saniyeler yangının büyümesine, kazanılan saniyeler ise insanın hayatta kalmasına hizmet eder. Aktif yangın güvenlik sistemlerinin gerçek değeri de burada ortaya çıkar: Yangını yalnızca söndürmek değil, yangının ilerlemesini sınırlandırarak insanlara ve itfaiyeye zaman kazandırmak. Yangın güvenliği aslında zaman yönetimidir. Kazanılan her saniye, yalnızca bir zaman değil; kurtarılan bir yaşam, azaltılan bir risk ve önlenen bir felakettir.

Yangın güvenliğinde asıl soru bu nedenle "Yangın ne kadar büyük?" değil, "Yangını kontrol altına almak için ne kadar zamanımız kaldı?" sorusudur. Altın dakika, işte bu sorunun cevabını değiştirebilecek kritik zaman aralığıdır.

4. SİSTEMLER HER ZAMAN ÇALIŞIYOR MU?

Bir yapıda aktif yangın güvenlik sistemlerinin bulunması, tek başına yangın anında beklenen performansın sağlanacağını garanti etmemektedir. Bir sistemin gerçek değeri, ihtiyaç duyulduğu anda çalışır, erişilebilir ve amacına uygun şekilde müdahale edebilir durumda olmasıyla ortaya çıkmaktadır.

Sprinkler sistemlerinde su kaynağının ve basıncın uygunluğu, vanaların açık ve erişilebilir durumda bulunması, pompa grubunun çalışabilirliği ve sistemin periyodik kontrollerinin yapılması; algılama ve alarm sistemlerinde ise dedektörlerin, alarm cihazlarının ve enerji kaynaklarının işler durumda olması sistem performansının sürekliliği açısından önem taşımaktadır. Benzer şekilde yangın dolaplarının erişilebilir olması, ekipmanlarının kullanılabilir durumda bulunması örneğin oksitlenmiş olmaması ve gerekli kontrollerinin gerçekleştirilmesi, ilk müdahalenin etkinliği açısından belirleyicidir.

Bu nedenle yangın denetimlerinde temel soru yalnızca "Sistem mevcut mu?" olmamalı, aynı zamanda "Sistem ihtiyaç duyulduğu anda görevini yerine getirebilecek durumda mı?" olmalıdır. Sistemlerin tasarımından işletmeye alınmasına, bakımından periyodik kontrollerine kadar devam eden süreç bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Burada ortaya çıkan temel yaklaşım şudur: Yangın güvenliği bir defada kurulan bir sistem değil, sürekliliği sağlanması gereken bir güvenlik sürecidir. Doğru tasarlanmış ve uygun şekilde uygulanmış bir sistemin düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımının yapılması, yangının ilk dakikalarında beklenen performansın sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Dolayısıyla aktif yangın güvenlik sistemlerinin başarısı, yalnızca teknolojik özellikleriyle değil, hazır bulunma durumları ve sürekliliklerileriyle değerlendirilmelidir. Çünkü yangın anında ihtiyaç duyulan sistem için ikinci bir şans olmayabilir; altın dakikada çalışmayan bir sistem, yalnızca teknik bir arıza değil, kaybedilmiş bir müdahale zamanı anlamına gelebilir. En gelişmiş ve en yüksek maliyetli sistem dahi, gerektiği anda doğru şekilde çalışmıyorsa yangın güvenliğine beklenen katkıyı sağlayamaz ve acı sonuçlar oluşabilir. Bu nedenle yangın güvenliğinde esas olan, sistemlerin standartlara uygun olarak tasarlanması, doğru şekilde kurulması, düzenli olarak test edilmesi ve sürekli işler durumda tutulmasıdır.

5. RUHSATLANDIRMA, TEST, BAKIM VE DENETİMİN ROLÜ

Yangına müdahale denildiğinde çoğu zaman olay yerine ulaşan itfaiye ekipleri düşünülmektedir. Oysa yangın güvenliğinde ilk müdahale, yangın çıkmadan çok daha önce başlar. Bir yapının tasarımında alınan kararlar, ruhsatlandırma sürecinde yapılan kontroller, sistemlerin test edilmesi ve kullanım süresince gerçekleştirilen bakım ve denetimler; yangın anında verilecek müdahalenin daha olay başlamadan şekillenen ilk aşamalarıdır.

Bir sprinkler hattının doğru projelendirilmesi, bir algılama sisteminin uygun noktaya yerleştirilmesi veya bir yangın pompasının ihtiyaç anında devreye girebilmesi, yangın çıktığı anda saniyeler içerisinde ortaya çıkan sonuçlar değildir. Bunların her biri, yangın meydana gelmeden önce oluşturulan bir güvenlik zincirinin halkalarıdır ve bu güvenlik halkalarının biri bile kırıldığında, diğer halkalar ne kadar eksiksiz tasarlanmış olursa olsun sistem beklenen performansı gösteremeyebilir.

Bunun en somut örneklerinden biri yangın suyu temin sistemleridir. Bir binada yönetmeliklere uygun kapasitede yangın suyu deposunun bulunması, tek başına etkili bir yangınla mücadele için yeterli değildir. Depoda yeterli miktarda su bulunsa dahi, bu suyu sprinkler veya yangın dolapları sistemine gerekli debi ve basınçta iletecek yangın pompasının arızalı olması, devreye girmemesi veya işletmeye hazır durumda bulunmaması hâlinde sistem işlevini yerine getiremez. Böyle bir durumda yangının henüz başlangıç aşamasında kontrol altına alınabileceği kritik zaman dilimi kaybedilir, yangın büyümeye devam eder ve hem can güvenliği hem de mal kaybı açısından risk önemli ölçüde artar.

Bu nedenle ruhsatlandırma yalnızca bir yapının kullanımına izin veren idari bir süreç olarak değil, aynı zamanda yangın riskinin daha oluşmadan kontrol altına alınmasına yönelik önleyici bir güvenlik mekanizması olarak değerlendirilmelidir. Test ve kabul süreçleri ise sistemin gerçekten tasarlandığı şekilde çalışabildiğinin doğrulanması açısından kritik bir aşamadır. Bakım ve periyodik kontroller ise yangın güvenliğinin sürekliliğini sağlar.

Burada önemli olan, sistemin kurulduğu gün çalışması değil, yıllar sonra yangının çıktığı gün de çalışabilmesidir. Çünkü yangın güvenlik sistemleri için gerçek sınav, test sırasında değil; alarmın gerçekten verilmesi, pompanın gerçekten çalışması ve sprinkler başlığının gerçekten müdahale etmesi gereken o birkaç saniyede gerçekleşir.

Bu nedenle yangın güvenliğinde denetimin temel amacı yalnızca “eksik var mı?” sorusuna cevap vermek değildir. Daha önemli soru şudur:

“Bu yapı, yangın çıktığı anda kendisinden beklenen savunmayı gerçekten yapabilecek mi?”

Bu bakış açısıyla ruhsatlandırma, test, bakım ve denetim süreçleri birbirinden bağımsız işlemler değil; yangının ilk dakikasında kazanılacak zamanın önceden inşa edilmesini sağlayan kesintisiz bir güvenlik zinciridir.

Çünkü yangın başladığında artık yanlış yapılmış bir projeyi düzeltmek, çalışmayan bir sistemi yeniden tasarlamak veya yıllardır yapılmamış bir bakımı gerçekleştirmek için zaman yoktur. Yangın anında kullanılacak zaman, yangın çıkmadan önce hazırlanır.

6. Sonuç

Yangın anında insan davranışının öngörülemezliği ve tepki sürelerindeki kaçınılmaz gecikmeler “kaybedilen zamanı” oluşturur. Aktif otomatik söndürme sistemleri ise, yangının büyüme dinamiklerini kırarak ve tahliye ortamını koruyarak “kazanılan zamanı” yaratır. Sonuç olarak, aktif sistemler sadece bir yangın söndürme mekanizması değil, insan faktörünün yarattığı zaman kaybını sıfırlayan hayati bir yaşam destek sistemidir.

KAYNAKLAR

1. SFPE (2019). SFPE Guide to Human Behavior in Fire. Society of Fire Protection Engineers, Springer.
2. Purser, D. A., & McAllister, J. L. (2016). Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (5th ed., pp. 2308-2428). Springer, Copernicus.
3. Proulx, G. (2002). Movement of People: The Evacuation Timing. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd ed., Section 3, Chapter 13). National Fire Protection Association.
4. ISO 13387-8 (1999). Fire safety engineering — Part 8: Life safety — Occupant behaviour, location and egress. International Organization for Standardization.
5. Gwynne, S. M. V., & Boyce, K. E. (2016). Engineering Data for Human Behavior in Fire. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Springer.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Şehit Büyükelçi İsmail Erez Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi İtfaiyecilik ve Yangın Güvenliği Bölümünden mezun olmuştur. Ön lisans eğitimini Yalova Üniversitesinde Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programında, ikinci ön lisans eğitimini ise Anadolu Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Programında tamamlamıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Beyoğlu Grup Amirliği'nde uzun dönem ve kısa dönem stajlarını tamamlamıştır.

Meslek hayatını itfaiye teşkilatı bünyesinde sürdürmekte olup, yangın önleme, yangın güvenliği, ruhsatlandırma ve denetim süreçlerinde görev almaktadır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında yangın güvenliği denetimleri, proje incelemeleri ve işletmelerin ruhsat süreçlerine ilişkin teknik değerlendirmeler gerçekleştirmektedir. İlgi alanları arasında yangın güvenliği, acil durum yönetimi, afet yönetimi ve iş sağlığı ve güvenliği yer almaktadır.

DUMANIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ VE DUMAN TAHLİYE SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ

A. Gamze Saygılı

Özet

Duman standart sözlükte geçen birinci anlamı ile 'bir maddenin yanmasıyla çıkan ve içinde katı zerrelerle buğu bulunan kara ya da esmer renkli Gaz'dır. İkinci anlamı ise;' havadaki sis, pus ya da yerden kalkan incecik tozların havada oluşturduğu bulanıklık 'tır. Bu çalışmada ele aldığımız duman ilk anlamına karşılık gelmektedir. (3, 8, 10)

NFPA 92 standardı ise dumanı havada taşınan katı ve sıvı parçacıkları ile malzemelerin bir miktar hava ile yanması ile oluşan gazlardan meydana gelen karışım olarak tamamlamaktadır. Bu tanım tüm ABD için geçerlidir ve dumanın sağlığa zararlarına yönelik ya da duman kontrolü esaslarına dayanan makalelerde aynen kullanılmaktadır (1, 2)

Duman oluşumun temelinde yanmanın sebep olduğu kimyasal değişim sonucunda maddelerin bileşenleri oksijen ile geri dönüşümsüz olarak tepkimeye girerek farklı gazları oluştururlar bu gazlar yanan maddelerden doğan toz ve partiküllerle insan sağılığını solunması halinde tehlikeye attığı gibi ortamdaki görüş mesafelerini de düşürerek tahliyeyi ve dışarıdan müdahaleyi zorlaştırırlar. (3, 8, 10)

Anahtar Sözcükler: Yangın, duman, sağlık, duman tahliye sistemleri.

THE EFFECTS OF SMOKE ON HEALTH AND THE IMPORTANCE OF SMOKE EXTRACTION SYSTEMS

Abstract

According to its primary definition in standard dictionaries, smoke is the black or brown-colored gaseous mixture produced by the combustion of a substance, containing suspended solid particles and vapor. Its secondary definition refers to the atmospheric haze formed by mist, fog, or fine dust particles suspended in the air. In this study, the term smoke is used in accordance with the first definition.

The NFPA 92 standard further defines smoke as a mixture of gases generated by the combustion of materials in the presence of air, together with airborne solid and liquid particles. This definition is widely adopted throughout the United States and is consistently used in publications addressing the health effects of smoke or the principles of smoke control. (1, 2)

Smoke is formed as a result of the irreversible chemical reactions that occur during combustion, in which the constituent components of materials react with oxygen to produce various gases. These gases, together with dust and particulate matter generated from the burning materials, pose significant health risks when inhaled. In addition, smoke reduces visibility within the affected environment, thereby hindering occupant evacuation and making external emergency response and firefighting operations more difficult.

Keywords: Fire, smoke, health, smoke extraction systems.

1. **Giriş**

Yangın sırasında ortaya çıkan duman, yanıcı materyalin türüne ve ortam koşullarına bağlı olarak değişen toksik bileşenler içerir. Kapalı alan yangınlarında inhalasyon yaralanmaları daha ağır seyreder. (8, 9, 10, 11)

Yangın dumanı inhalasyonu yanık hastalarında morbidite ve mortalitenin başlıca nedenlerinden biridir. Duman kaynaklı yaşanan yaralanmalar diğer yangın kaynaklı yaralanmalardan 24 kat fazladır. Bina yangınlarında meydana gelen ölümlerin çoğu çökme ve yanma sonucu değil, yayılan gazlar nedeni ile gerçekleşen zehirlenmeler ve akciğerlere verilen tahrişler sonucu olmaktadır [1]. Bunu solunum yolu ile alınması, görüşün kapalı olması ile yangından kaçamama ya da uzun süre zehirli gazların solunması neden olmaktadır. Konu ile ilgili yangından kaçışa yönelik istatiksel araştırmalarda yangın çıkan binalarda, dumana maruz kalan insanların %40 ının 4 m yürüyebildikleri, %90 ının ise 9 metreden fazla yürüyemedikleri belirlenmiştir [2].Yangın söndürüldükten sonra ortamda ki dumanın soğuması ile çökmesi zehirlenmeleri kolaylaştırmakta ve yine yangın esnasında olduğu gibi tahliyeyi ve kazazedelere müdahaleyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca istatiksel veriler dikkate alındığında, duman zehirlenme ve boğulmalara ek olarak heyecana ve korkuya bağlı, kalp krizi, felç, düşmeye bağlı yaralanma ve bronş yangısına da sebep olmaktadır. (8, 9, 10, 11)

2. Yangın Dumanının Kimyasal Bileşimi

Asfiksiyan gazlar (CO, HCN), irritan gazlar (SO2, NO2), partikül maddeler ve uçucu organik bileşikler içerir. (3, 8, 10)

2.1 **Dumanın kimyasal bileşiminde ki maddelerin toksik etkileri**

Madde	Kaynağı	Sağlık Riskleri	Belirtileri
Karbon monoksit (CO)	Eksik yanma (ahşap, pamuk, plastik)	Hayatı tehdit eden ciddi sistemik zehirlenmelere yol açar.	Baş ağrısı, baş dönmesi, bilinç bulanıklığı.
Hidrojen siyanür (HCN)	Plastik, poliüretan, yün, ipek	Akut ve son derece tehlikeli toksik etkilere sahiptir.	Hızlı nefes alma, bayılma, ani sağlık sorunları.
Karbondioksit (CO_2)	Tam yanma (tüm organik maddeler)	Solunum kalitesini düşürerek vücut fonksiyonlarını olumsuz etkiler.	Nefes darlığı, halsizlik, zihinsel karışıklık.
Akrolein ve Formaldehit	Ahşap, kağıt, mobilya cilaları	Solunum yollarında şiddetli tahriş ve doku hasarı oluşturur.	Gözlerde yanma, öksürük, boğazda şişme.
Kükürt dioksit (SO_2)	Kauçuk, lastik, yün	Akciğer dokusunda irritasyon ve solunum fonksiyonu bozukluğu oluşturur.	Göğüs sıkışması, hırıltılı solunum, nefes darlığı.
Partikül maddeler (kurum/is)	Tüm yanan katı maddeler	Akciğer kanallarına nüfuz ederek solunum sistemini olumsuz etkiler.	Balgam, kronik öksürük, solunum yetmezliği.

3. Solunum Sistemi üzerine Etkiler

Hava da asılı kalan toz partikülleri solunum yolu ile alındığında astım, koah gibi akciğer hastalıklarını ve kalp yetmezliği gibi kardiyovasküler hastalıkları da tetiklemektedir (3, 8, 10)

Dumanda iritan yani tahriş edici gazlarda bulundurmaktadır. Bu gazlardan bazıları; hücredeki su ile birleştiğinde ortaya asit oluştururlar. Klor, hidrojen klor, azot dioksit, fosgen ve kükürt dioksit bu su ile birleşerek asit oluşturabilecek gazlardır. Solundukları takdirde iç organlara büyük zarar verirler. Dumanda yer alan çeşitli toksik bileşikler olan aşırı ısınmış yanma ürünlerinin bir kısmı solunur ve hava yolu mukozasında termal yanıklara neden olur. Partikül çapı 10 µm'den büyük olanlar nazofarinkste tutulurken, 1–2 µm büyüklüğündeki partiküller alveollere kadar ulaşabilir. (8, 9, 10, 11)

Ayrıca ,Helyum, Neon, Argon, Kripton, Xenon, Hidrojen, Metan, Etan, Propan gibi gazlar ortamda ki oksijeni kaplayarak oksijen yetersizliğine neden olmaktadırlar.Boğucu etkileri ile solunum inhibe ederler. (3, 8, 10)

3.1. Solunum yollarına göre etki mekanizması

3.1.1. Supraglottik Bölge / Üst Hava Yolu

Sıcak dumanın etkisi ile orofaringeal mukozal yapılar öncelikle ısı transferi, ikinci olarak ise kimyasal mediyatörlerin salınması nedeniyle hasar görür. Termal yaralanma Madde P, kalsitonin gen ilişkili peptid, eikozanoidler, nöral endopeptidaz ve IL-8 salınımına yol açar. Bunlar polimorfonükleer hücreleri çekerek proteaz salınımını artırır ve inflamasyonu şiddetlendirir. Dil, epiglot ve glottiste belirgin şişlik gelişir. Bu durum üst hava yolunda ödem oluşturarak hava yolu tıkanıklığına neden olabilir. Üst hava yolundaki yüksek kan akımı nedeniyle termal yaralanma çoğunlukla vokal kordların altına ilerlemez. (3, 8, 10)

3.1.2. Trakeobronşiyal Ağaç / Alt Hava Yolu ve Akciğerler

Dumandaki kimyasal maddeler trakeobronşiyal ağaçta inflamasyon ve ödeme yol açar. İlk üç saat içinde bronş dolaşımı ,artmış kardiyak debi ve hipermetabolik yanıt nedeniyle 10–20 kat artabilir. Akciğer kan akımı 4–6 kat yükselir. Bu artış hava yolu ödemi, sıvı sızıntısı ve inflamatuvar mediyatörlerin taşınmasını artırır. Bronş dolaşımının artması pulmoner ödemi ağırlaştırır. İnflamatuvar mediyatörler damar geçirgenliğini artırarak akciğerde sıvı birikimine katkıda bulunur. (8, 9, 10, 11)

Starling kuvvetlerinin pulmoner ödemi destekleyen tüm bileşenleri aktive olur; mikrovasküler hidrostatik basınç artar ve damar geçirgenliği yükselir. (8, 9, 10, 11)

4. DUMANIN SOLUNUM YOLLARINA VERDİĞİ HASAR ÇEŞİTLERİ

4. 1. Termal Hasar

Üst hava yollarında (nazofarinks, larenks) ısıya bağlı mukozal yanık ve ödem oluşur. Ses kısıklığı, stridor ve ciddi durumlarda hava yolu tıkanması gelişebilir. (5)

4.2. Kimyasal Hasar

Duman içindeki toksinler (amonyak, klor, formaldehit vb.) bronş epitelini tahrip eder, silyaları felç eder ve inflamasyon oluşturur. Mukus artışı, bronkospazm ve mukus tıkaçları gelişir.

4.3. Alveoler Hasar ve ARDS (6, 7)

Alveol-kapiller membran bozulur, kapiller kaçak sonucu pulmoner ödem gelişir. Hyalin membran oluşumu ve ARDS ortaya çıkabilir. Şiddetli hipoksi görülür. (6, 7)

4.4. Sistemik Toksisite

Karbon monoksit hemoglobine bağlanarak oksijen taşınmasını bozar. Siyanür hücresel düzeyde oksijen kullanımını engeller ve laktik asidoza yol açar. (4)

4.5. Geç Komplikasyonlar

Pnömoni, bronşiolit obliterans ve fibrozis gelişebilir.Koma görülebilir.Kanda ki oksihemoglobin artışı dokulara oksijen taşınmasını azalttığı için kalp krizi ve beyinde cerebral iskemiye,infarkta,inmeye yol açabilir. (4)

KARBON MONOKSİTİN TOKSİK ETKİLERİ	
Havadaki CO (%)	**Belirtiler**
0.01	Belirti yok –Hasar yok
0.02	Orta şiddette baş ağrısı; bazı başka belirtiler
0.04	1-2 saat sonra baş ağrısı
0.08	45 dakika sonra baş ağrısı
0.10	Tehlikeli- 1 saat sonra şuur kaybı
0.16	20 dk. Sonra baş ağrısı
0.32	5-10 dk. Sonra baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı;30 dk. Sonra şuur kaybı
0.64	5-10 dk. Sonra baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı;30 dk. Sonra şuur kaybı
1.26	Ani şuur kaybı,1 – 3 dk. İçerisinde ölüm tehlikesi

4. Patofizyoloji

4.1. Akciğerler üzerine:

Duman akciğer yüzey gerilimin azaltan ,soluk alıp verme sırasında akciğerin atelektazisi ni(çökmesini) önleyen sülfaktan maddesinin azalmasına neden olur.Bununla birlikte bağışıklık sistemi modülatörleri inerlokinler ve tumor nektör faktörleride azalmaya gider. Böylece inflamasyon, oksidatif stres ve endotel hasarı sonucu pulmoner ödem ve gaz değişim bozukluğu oluşur. (8, 9, 10, 11)

4.2. Beyin sağlığı ile ilintili problemler

Duman inhalasyonuna bağlı inme doğrudan dumandan değil; hipoksi, toksik gazlar ve dolaşım bozuklukları sonucu gelişir. (8, 9, 10, 11)

Karbon monoksit (CO) (4)

CO hemoglobine oksijenden 200–250 kat güçlü bağlanır, karboksihemoglobin oluşturur. Dokulara oksijen taşınması azalır, beyin hipoksiye uğrar ve iskemik inme gelişebilir. (4)

Hipotansiyon

Ağır CO veya siyanür zehirlenmesi hipotansiyon ve serebral perfüzyon azalmasına yol açabilir. Watershed infarktları görülebilir. (3, 10)

Endotel hasarı

İnflamasyon ve trombosit aktivasyonu tromboz riskini artırabilir.

Serbest radikaller

Oksidatif stres serebral damar fonksiyonunu bozarak iskemiye katkıda bulunabilir.

Hidrojen siyanür (3, 10)

Sitokrom c oksidaz inhibisyonu nedeniyle histotoksik hipoksi gelişir; beyin hızla etkilenir. (3, 10)

4.3. Kalp sağlığı ile ilintili problemler

Duman inhalasyonuna bağlı miyokard enfarktüsü (kalp krizi), doğrudan dumanın kalbe zarar vermesiyle değil; karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN), hipoksi ve inflamasyonun birlikte oluşturduğu miyokard iskemisi sonucu gelişir. (3, 10)

Karbon monoksit (CO) zehirlenmesi (4)

CO, hemoglobine oksijenden yaklaşık 200–250 kat daha yüksek afiniteli bağlanarak karboksihemoglobin oluşturur. Dokulara oksijen taşınması azalır, oksihemoglobin ayrışma eğrisi sola kayar ve miyokard hipoksiye uğrar. (4)

Koroner miyokard iskemisi

Kalbin oksijen gereksinimi yüksektir. CO'ya bağlı hipoksi özellikle koroner arter hastalığı olan kişilerde miyokard iskemisi ve enfarktüse yol açabilir.Hücresel toksisite

CO hemoglobinin yanı sıra miyoglobin ve sitokrom oksidaza da bağlanır. ATP üretimi azalır, oksidatif fosforilasyon bozulur ve kardiyomiyosit fonksiyonları etkilenir.Hidrojen siyanür (HCN) (3, 10)

HCN sitokrom c oksidazı inhibe ederek histotoksik hipoksi oluşturur. Hücre oksijeni kullanamaz, ATP üretimi durur ve miyokard hasarı gelişebilir. (3, 10)

4.4. Oksidatif stres ve inflamasyon

Serbest radikal oluşumu, endotelyal hasar ve inflamatuvar sitokinlerde artış koroner dolaşımı bozar ve tromboz riskini artırabilir.

4.5. Hemodinamik bozukluk

Hipotansiyon, aritmi ve kardiyak debide azalma koroner perfüzyonu düşürerek iskemiyi ağırlaştırır.

5. Klinik Bulgular

Dispne, öksürük, siyah balgam, ses kısıklığı ve bilinç değişikliği görülebilir.

6. Tanı

Arter kan gazı, COHb düzeyi, akciğer grafisi ve solunum tıkaçlarını açmak için bronkoskopi kullanılır. (4)

7. Tedavi

7.1. Acil Yaklaşım (ABC)

Hava yolu: Erken entübasyon (ses kısıklığı, stridor, yüz yanığı).
Solunum: %100 oksijen verilir, COHb ölçülür.
Dolaşım: IV sıvı, yanık varsa Parkland formülü. (4)

Bilinç açık,fiziksel bir kısıtlılık yoksa yangın mahalinde ayrıldıktan sonra dumansız bir hava alanına geçip hızlı şekilde 1-2 dk derin soluk alıp verilmesi önerilir. (3, 8, 10)

7.2. Karbon Monoksit Zehirlenmesi

%100 oksijen temel tedavidir.

Hiperbarik oksijen tedavisi endikasyonları: COHb > %25, gebelikte > %15–20, nörolojik bulgular, kardiyak iskemi ve asidozdur. (4)

7.3. Siyanür Zehirlenmesi

Şüphede hidroksokobalamin verilir. Alternatif olarak nitrit + tiyosülfat kullanılabilir. (3, 10)

7.4. Solunum Desteği

Hafif: Oksijen ve bronkodilatör.
Ağır: Entübasyon ve mekanik ventilasyon.
ARDS: Düşük tidal volüm, PEEP, prone pozisyon. (6, 7)

7.5. Destek Tedavisi

Sekresyon kontrolü, fizyoterapi, analjezi, sıvı-elektrolit dengesi.

7.6. Antibiyotik ve Steroid

Rutin önerilmez. Enfeksiyon varsa antibiyotik verilir. (5)

8. Sonuç

Yangın dumanı inhalasyonu ciddi bir klinik durumdur ve erken müdahale hayat kurtarıcıdır. Duman tahliye sistemlerinin varlığı ve uygun tasarımı da bu anlamda hayati önem taşır. Dumanı belli bir bölgede kısıtlayıp mekanik ya da doğal yollarla tahliye ederek İnsanların güvenli tahliyesine yangın söndürme ekiplerinin kolaylıkla müdahalesine ve sağlık çalışanlarının bölgede ki yaralılara müdahalesine imkan sağlarlar.Diğer önemli bir hususta sağlık ve yangın söndürme ekiplerinin müdahale esnasında dumana karşı gerekli güvenlik ekipmalarını kullanmasıdır. (8, 9, 10, 11)

Toplanma amaçlı binalarda duman tahliye sistemleri ile birlikte kaçış esnasında kaçış yolları üzerine uygulan basınçlandırma sistemleri insan sağlığı açısından tahliyenin minumum zararla gerçekleşmesine olanak tanır. (1, 2)

Bu amaçla TC. Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmeliğimiz ile birlikte uluslararası standartlarda güvenlik önlemlerini içeren NFPA gibi düzenlemelerden yaralanılması insan sağlığı ,yaşamı ve bina güvenliği açışında oldukça önemlidir. (1, 2)

KAYNAKÇA

[1] KILIÇ, A., Duman Kontrol Gerekliliği, Yangın.org.

[2] KAPANCI, F. E., Binalarda Yangın Güvenliği Bağlamında Kaçış Yollarının Analizi ve Bir Örnek Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016.

[3] Inhalation Injury from Heat, Smoke, or Chemical Irritants, UpToDate.

[4] Carbon Monoxide Poisoning, UpToDate.

[5] AMERICAN BURN ASSOCIATION., Practice Guidelines for Burn Care.

[6] AMERICAN THORACIC SOCIETY., Guidelines for Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Management. (6, 7)

[7] EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY., Acute Respiratory Distress Syndrome Guidelines.

[8] DRIES, D. J., ENDORF, F. W., Inhalation Injury: Epidemiology, Pathology, Treatment, Journal of Burn Care & Research.

[9] ENKHBAATAR, P., PRUITT, B. A., Smoke Inhalation Injury in Burns, The Lancet.

[10] GUPTA, K., MEHROTRA, M., Smoke Inhalation Injury: Etiopathogenesis, Diagnosis, and Management, Indian Journal of Critical Care Medicine, Cilt 22, Ek Sayı 2, s. S180–S188, 2018.

[11] YOU, K., YANG, H. T., KWON, S. Y., KIM, D., Inhalation Injury in Burn Patients: Establishing the Link Between Diagnosis and Prognosis, Burns, Cilt 41, Sayı 7, s. 1470–1475, 2015.

Kısa Özgeçmiş

A.Gamze Saygılı Aliağa TED koleji mezunudur. Sırasıyla Galatasaray Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ve Uludağ **Üniversitesi** Makine Mühendisliği Yüksek Lisans derecelerini 2005 ve 2014 **yıllarında almıştır.** Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Doktorasını tez aşamasında TIP kariyeri için bırakmıştır.2010 Yılında Paris CNPP'de Risk Yönetimi eğitimini tamamlamıştır.2014 yılında Toulouse 'da ATEX eğitimi almıştır. Halen Biruni Üniversitesi **Tıp Fakültesi Hastanesi'nde İntörn Doktor olarak çalışmaktadır.**

YANGIN DAMPERLERİ, DUMAN KONTROL DAMPERLERİ VE YANGIN/ DUMAN DAMPERLERİNİN TASARIM, UYGULAMA VE İŞLETİM ŞARTLARI VE GEREKLİLİKLERİ

Evren UYGUR

ÖZET

Yangın dayanımı gerekli yapı elemanlarında bütünlüğün devamlılığının sağlanması, bu elemanlardan alev, duman, vb. yangın etkilerinin geçişinin tanımlı süreler boyunca engellenmesi veya sınırlandırılması, hava akışının kesilmesi veya dumanın yönlendirilmesi amaçları için uygulanan yangın ve duman kontrol damperleri yangın korunum açısından kritik öneme sahiptir. Kullanım amacı ve yeri, uygulanan yapı elemanının özellikleri, aktivasyon ve operasyon özellikleri, vb. detaylara göre tip ve içerikleri değişkenlik gösteren yangın korunum amaçlı damperler için uygun montaj şartları, periyodik kontrol, test ve bakım prosedürleri de diğer önemli konular olmaktadır.

Bu çalışmada; yangın ve duman damperleri için yerel yönetmelik esasları ve kabul gören uluslararası standartlar üzerinden karşılaştırmalı tasarım gereklilikleri, uygulama detayları ve uygun işletim için gerekli prosedürler sunulacaktır.

Anahtar sözcükler: yangın damperleri, duman kontrol damperleri, yangın/duman damperleri.

DESIGN, INSTALLATION AND OPERATIONAL CONDITIONS AND REQUIREMENTS FOR FIRE DAMPERS, SMOKE DAMPERS AND FIRE/SMOKE DAMPERS

ABSTRACT

Fire and smoke control dampers are critically important for fire protection, as they are used to maintain the continuity of integrity in fire-resistant structural elements, to prevent or limit the passage of flames, smoke, etc. through these elements for defined ratings and to interrupt airflow or control the movement of smoke. Type and content of fire protection dampers can vary depending on their intended use, application location, the characteristics of the building element they are applied to, their activation and operation features, etc. Appropriate installation conditions, periodic inspection, testing, and maintenance procedures are important considerations as well.

This study will present design requirements, application details, and necessary procedures for proper operation of fire and smoke dampers based on local codes and accepted international standards comparatively.

Key words: fire dampers, smoke dampers, fire/smoke dampers

1. GİRİŞ

Yangın damperleri, ısı algılaması ile otomatik olarak kapanma, hava akışını engelleme ve alev yayılımını kısıtlama amaçları ile tasarlanmış hava dağıtım sistemlerine monte edilen cihazlardır. Duman damperleri veya bir başka deyişle duman kontrol damperleri ise hava dağıtım sistemlerinde duman hareketini kontrol etmek veya tamamen tahliye etmek amacı ile kullanılır. Yangın-Duman damperleri havalandırma kanalları veya yangın dayanımı gerekli yapı elemanları üzerindeki hava transfer açıklıklarında kullanılan ve yangın ve duman damperlerinin her biri için gereklilikleri sağlayan damperlerdir. Damper tip tanımlamaları standartlar arası farklılık gösterse de, temel olarak amaçları aynı, benzer veya bütünleşiktir.

Yerel yönetmeliğimiz yangın damper kullanım gereklilikleri ile ilgili belli tanımlamalar yapmaktadır ve detay konularda öncelikle ilgili Avrupa normlarına (EN) başvurulmalıdır. NFPA, vb.standartlar ise, damper tip tanımlamaları, damper üretim ve test kriterleri, sertifikasyon, vb. konularda farklılık gösterdiğinden, tasarımsal detay iyileştirmeler ve ilave uygulamalar için kullanılabilecektir.

Bu çalışmada; yangın, duman ve yangın korunum amaçlı diğer damperlerin yerel yönetmelik ve refere ettiği standart kriterleri üzerinden yangın korunum ve yaşam güvenliği kapsamında gereklilikleri incelenmekte ve bu gereklilikler için detaylı tasarım ve uygulama şartları sunabilen NFPA kodlarının ana şartları ile karşılaştırmalı değerlendirme yapılmaktadır.

2. KOMPARTIMAN AYRIM ŞARTLARI VE YANGIN DAMPER KULLANIMI İLE İLİŞKİSİ

Yangın damperlerinin temel kullanım gerekliliği ve amacı, yangın dayanımı gerekli duvar, tavan, vb. tüm yapı elemanlarında yangın dayanım bütünlüğünün devamlılığını sağlamak ve yangın etkilerinin geçişini sınırlandırmaktır. Yerel yönetmelik “yüksek binalar” için şaftların korunumlu olmasını ve korunumlu şaft duvarlarından havalandırma kanallarının giriş ve çıkışlarında yangın damperi kullanımını zorunlu tutmaktadır. Aynı hava santrali ile birden fazla yangın kompartımanın havalandırılması veya iklimlendirilmesi durumunda kompartımanlar arası kanal geçişlerinde ve 120dk. veya üzeri yangın dayanımı gerekli kompartıman duvarlarından veya döşemelerden kanal geçişlerinde yangın damperi kullanımı aynı şekilde zorunludur. Kompartıman duvar ve döşeme kanal geçişlerinde şönt kanal veya özel kelepçe sistemlerine de izin verilmektedir.

NFPA kodlarına göre ise, 4 den az veya 4 veya daha fazla olmak üzere bina kat adedine bağlı olarak tüm düşey tesisatların 60dk. veya 120dk. yangın dayanımlı şekilde kapatılması ve binadan ayrılması zorunludur. Yalnızca bulunduğu kata veya bitişik bir kata hizmet veren havalandırma sistemleri ve kanalları için ise bu zorunluluk oluşmamaktadır. Yangın dayanım süresi gözetmeksizin tüm şaft duvarlarından havalandırma kanal geçişlerinde ve tek kattan açık döşeme kanal geçişlerinde yangın damper kullanımı zorunludur. Şaft duvarlarından kanal geçişlerinde yangın damperi yerine şönt kanal sistemine de izin verilmektedir, bu şartlarda şönt kanal en az 56cm. uzulukta olmalı, hava akışı yukarı ilerlemeli ve ana kanal ölçüsü akış sınırlamasını karşılamalıdır. 120dk. yangın dayanımı gerekli kompartıman duvarları ve döşemelerden kanal geçişlerinde yangın damperi gerekliliği aynı şekilde geçerlidir, ilave olarak süre gözetmeksizin tüm yangın dayanımı gerekli duvarlar üzerindeki hava transfer açıklıklarında da yangın damperi uygulanmalıdır.

3. DUMAN VE YANGIN-DUMAN DAMPERLERİ VE KULLANIM ŞARTLARI

Yerel yönetmelikte duman damperleri için net bir tanım bulunmasa da dumanın kontrolü, yönlendirmesi ve tahliyesi için mutlak gereken cihazlardır. Temel amacı, üzerinde bulunduğu kanalın bağlı olduğu havalandırma sistemindeki duman akışını yönlendirmek veya dumanın tamamen tahliyesini sağlamaktır. Yalnızca dumanın tahliyesi amacı ile kullanılan sistemlerde, kat genelinde veya bölüm özelinde kontrolü sağlamak adına mutlak tanımlanmalı ve kullanılmalıdır.

NFPA kodlarına göre; 7.080 lit./sn. kapasitenin üzerindeki havalandırma sistemlerinde, havalandırma ünitesini sistemin duman bariyerleri ile ayrılmış diğer kısımlarından besleme ve geri dönüş olmak üzere tamamen izole etmek ve duman sirkülasyonunu sınırlandırmak için duman damperleri uygulanmalıdır. Yalnızca bulunduğu kata veya çatıda bulunup yalnızca bir alt katına hizmet veren havalandırma üniteleri duman damperi gerekliliği haricinde tutulabilir. Yangın-Duman damperleri, yangın ve duman damperlerinin her biri için gerekliliklerin ihtiyaç olduğu durumlarda kullanılmaktadır, havalandırma kanalı geçen 120dk. yangın dayanımı gerekli bir duvarın aynı zamanda duman bariyeri işlevli olması bu koşula bir örnektir.

4. DAMPER KONUM DEĞİŞTİRME, ISI ALGILAYICI ELEMANLAR VE AKTİVASYON YOLLARI

Tüm yangın damperleri otomatik olarak kapanmalıdır. Kapama işlemi, anormal ısı artış koşullarında anlık etkilenecek bir konumda bulunan eriyebilir termal eleman veya diğer onaylı ısı aktivasyon cihazının operasyonu ile gerçekleşmeli ve kapalı konum korunmalıdır. Termal eleman veya diğer onaylı ısı aktivasyon cihazları, sistem operasyonu sırasında veya sistem kapandığında oluşacak azami sıcaklığın yaklaşık 28°C üzerinde ve en az 71°C aktivasyon sıcaklık değerine sahip olmalıdır. Duman kontrol sistemleri için uygulanacak yangın+duman damperlerinin termal elemanları veya diğer onaylı ısı aktivasyon cihazları için aktivasyon sıcaklığı, sistem azami operasyon sıcaklığının yaklaşık 28°C üzerinde ve en fazla 177°C aktivasyon sıcaklık değerine sahip olmalıdır.

Duman yönlendirme koşullarının sağlanabilmesi için, yangın+duman damperlerine uzaktan açık konuma geçirme ve yangın senaryoları kapsamında otomatik konum değişiklikleri uygulanabilir. Bu koşulda, damper bozulma sıcaklığına ulaştığı zaman tekrar kapanma özelliğine de sahip olmalıdır.

Yangın damperleri ve yangın-duman damperleri her şartta ısı algılayıcı termal elemana sahiptir ve aktivasyon sıcaklığında otomatik olarak kendiliğinden kapanacaktır, yangın-duman damperleri yangın damperi aktivasyonu için gerekli şartlar oluşana kadar duman kontrolü için kullanılacak ve açık veya kapalı konum alabilecektir, tüm bu damper tipleri bina ihtiyaçları ve senaryo şartlarına bağlı olarak uzaktan otomatik kontrole olanaklı motorlu ve elektriksel aktivasyonlu olarak da seçilebilir ve uygulanabilir.

Duman damperleri veya bir başka deyişle duman kontrol damperleri tamamı ile duman kontrolüne yönelik damperler olup motorlu ve elektriksel aktivasyon özelliklerine sahip olurlar, herhangi bir termal eleman ve bu eleman aktivasyonu ile otomatik kapanma düzeneği içermezler, bulunduğu kat, yangın alarmı alınan kat ve senaryoya bağlı şekilde konum değiştirirler veya mevcut konumlarını korurlar. İlave manuel aktivasyona olanakları bulunsa da, belirli şartlar oluşmadığı sürece otomatik senaryo aksiyonları haricinde yalnızca bu olanak üzerinden çalıştırılmazlar.

5. DAMPER ONAY TESTLERİ VE SINIFLANDIRMA

Yangın damperleri ve yangın-duman damperleri TS-EN-15650 standardına göre üretilmeli ve TS-EN-1366-2 standardına göre test edilmeli ve sertifikalandırılmalıdır, TS-EN-1366-2 standardına göre yapılan test yangın damperleri için bütünlük ve yalıtım kriterleri üzerinden yangın dayanım özelliklerinin belirlenmesini ve TS-EN-13501-3 standardına göre sınıflandırılmalarını sağlar. NFPA kodlarında karşılık gelen test standardı ise UL 555 olmaktadır. Asgari dayanım, 3 saat veya üzeri dayanım gereksinimi olan yapı elemanları üzerinde uygulanacak damperler için en az 3 saat, 3 saatten az dayanım şartlarında ise en az 90 dakika olmaktadır.

Duman ve duman kontrol damperleri TS-EN-12101-8 standardına göre üretilmeli ve TS-EN-1366-10 standardına göre test edilmeli ve sertifikalandırılmalıdır, TS-EN-1366-10 standardına göre yapılan test duman kontrol veya yangın-duman damperleri için bütünlük ve yalıtım kriterleri üzerinden yangın dayanım ve kaçak analizi üzerinden sızdırmazlık özelliklerinin belirlenmesini ve TS-EN-13501-4 standardına göre sınıflandırılmalarını sağlar. NFPA kodlarında karşılık gelen test standardı ise UL 555S olmaktadır.

6. DAMPER MONTAJ, ELEKTRİKSEL İZLEME VE FONKSİYON TEST-BAKIM ŞARTLARI

Her yangın, duman veya yangın-duman damperi üretici direktifleri ve test edildikleri koşulları üzerinden monte edilmelidir. Yangın damperi özelliklerini sağlayacak her türlü damper, uygulandıkları yapı elemanının yangın dayanım bütünlüğünü ve devamlılığını sağladıklarından uygulandıkları duvar-döşeme elemanının bir parçasıymış gibi davranmalı ve bu duruma göre monte edilmelidir, bütünlüğe olumsuzluk doğuracak kasa-duvar arası boşluklar, kasa deformasyonu, vb. montaj şartları uygunsuzluk oluşturacaktır, kasa montajı, kasa ile kanal arası bağlantılar, uygun kanat hareketleri, vb. koşullar mutlak üretici talimatları ile değerlendirilmelidir.

Yangın damperlerinin normal şartlarda elektriksel olarak izlenmesi zorunlu değildir, yangın damperinin tek amacı gerekli şartlarda kapalı konuma geçmektir, konum veya hata izleme genel olarak yangın koşullarında herhangi bir işlev görmeyecektir. Yangın damperlerindeki yay geri dönüş sistemi, herhangi bir olumsuzlukta damperin koşulsuz kapanmasını da sağlar. Çok yüksek binalar veya yüksek tehlike içerikli yapı ve binalarda yangın damperlerinin elektriksel olarak izlenmesi ise kontrol ve güvenilirlik açısından uygun bir yaklaşımdır. Duman kontrol veya yangın-duman damperleri ise, kullanım amaçları ve içeriklerine bağlı olarak elektriksel olarak izlenmeli ve kontrol edilmelidir.

Yangın alarm sistemleri ve senaryo ile çalıştırılan tüm yangın ve duman damperleri uygulandıkları binanının kullanımından önce asıl ve yedek enerji kaynakları üzerinden otomatik olarak çalıştırılmalı ve uygun fonksiyonları test edilmelidir. Yalnızca termal eleman ile aktive olan yangın damperleri klape ve yay mekanizması fonksiyonu üzerinden manuel olarak test edilebilir. Test işlemleri, senede en az 1 defa olmak üzere periyodik olarak tekrarlanmalıdır. Test işlemleri sırasında görsel kontrol ve manuel aktivasyon koşulları da gerçekleşmelidir. Bakım işlemleri üretici direktiflerine uygun olarak sağlanmalı, çalışmayan veya kusurlu damper komponentleri gecikme olmadan onarılmalı veya yenileri ile değiştirilmelidir, akabinde tekrar test edilmelidir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada yangın ve duman damperleri için temel kullanım ve seçim şartları ve gerekli özellikleri belirtilmiştir. Yerel yönetmelikte belirtilen damper kullanım gereklilik tanımlamaları ve üretim, test ve sınıflandırmaya karşılık gelen standartların bütünü, uygun damper tip seçiminin, tasarım ve uygulama koşullarının ve işletimin eksiksiz gerçekleşmesini sağlayabilmektedir. Özellikle montaj şartları için ise üretici direktifleri ve ürünün sertifikasyon test işlemlerindeki koşulları esas alınmalıdır.

8. KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2024

[2] TS-EN-1366-2, Servis Tesisatları İçin Yangına Dayanıklılık Deneyleri-Yangın Damperleri

[3] TS-EN-1366-10, Servis Tesisatları İçin Yangına Direnç Deneyleri-Duman Kontrol Damperleri

[4] TS-EN-12101-8, Duman ve Isı Kontrol Sistemleri, Duman Kontrol Kapakları

[5] TS-EN-15650, Binalarda Havalandırma-Yangın Damperleri

[6] TS-EN-13501-3-Yangın Damperleri Yangına Direnç Deneyleri Sınıflandırma

[7] TS-EN-13501-4-Duman Kontrol Sistemleri Yangına Direnç Deneyleri Sınıflandırma

[8] NFPA-90A, Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems, 2024

[9] NFPA-92, Standard for Smoke Control Systems, 2024

[10] UL 555, Fire Dampers

[11] UL 555S, Smoke Dampers

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Evren UYGUR

1979 yılında İstanbul'da doğmuştur. Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun olmuştur. 2005-2013 yılları arasında mekanik tesisat sektöründe yangın korunum ve söndürme sistemleri konusunda faaliyet gösteren belli firmalar bünyesinde satış, tasarım ve saha kontrol mühendisi olarak görev almıştır. 2013 yılından bu yana bağımsız yangın korunum ve güvenlik danışmanı olarak hizmet vermektedir.

ASPİRASYON SİSTEMLERİNDE CFD ANALİZİ İLE YANGIN YAYILIMININ BELİRLENMESİ

Ali Serdar GÜLTEK

ÖZET

Tekstil terbiye ve kurutma tesislerinde kullanılan aspirasyon sistemleri; yüksek sıcaklık, kimyasal uçucular ve biriken toz partikülleri nedeniyle yangınların yayılımında kritik rol oynamaktadır. Bir tekstil tesisinde meydana gelen gerçek bir yangın olayı; saha incelemesi, laboratuvar analizleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modellemelerinin birlikte kullanıldığı çok disiplinli bir yaklaşımla incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, havalandırma kanalları içindeki yangın yayılımını Yangın Dinamiği Simülatörü (NIST-FDS) kullanılarak sayısal olarak incelemek ve sistemi değerlendirmektir. Bu kapsamda geliştirilen senaryolar, saha bulguları ile uyumlu olacak şekilde kurgulanmış ve CFD analizleri hipotezlerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Yapılan FDS modellemeleri, kanal içi hava akımı ile cidarlarda biriken yanıcı kalıntıların etkileşimi sonucu alev ve sıcak gazların kısa sürede sistem boyunca taşındığını göstermektedir. Ayrıca, mevcut genel hacim algılama ve söndürme sistemlerinin, bu tür hızlı gelişen ve kanal içi sınırlı hacimlerde ortaya çıkan yangın senaryolarında yetersiz kalabileceği değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, endüstriyel havalandırma sistemlerinin tasarımında standart duman kontrol yaklaşımlarının ötesine geçilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Aspirasyon hatlarına özel hızlı algılama dedektörleri, lokal söndürme sistemlerinin entegrasyonu, uygun kanal malzemesi seçimi ve sistem bölmelendirmesi gibi mühendislik önlemleri yangından korunmanın temel unsurları olarak önerilmektedir. Bu çalışma, CFD tabanlı analizlerin endüstriyel tesislerde yangın güvenliği tasarımının geliştirilmesinde etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar sözcükler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD), FDS, Aspirasyon Sistemleri, Endüstriyel Yangın

DETERMINATION OF FIRE PROPAGATION IN ASPIRATION SYSTEMS USING CFD ANALYSIS

ABSTRACT

Aspiration systems used in textile finishing and drying facilities play a critical role in the spread of fires due to high temperatures, chemical volatiles, and accumulated dust particles. A real fire incident that occurred in a textile facility was investigated through a multidisciplinary approach combining field inspection, laboratory analyses, and Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling. The aim of this study is to numerically examine and evaluate fire propagation within ventilation ducts using the Fire Dynamics Simulator (NIST-

FDS). The scenarios developed within this scope were structured to be consistent with field findings, and CFD analyses were used to test the hypotheses.

The FDS simulations demonstrate that as a result of the interaction between the airflow inside the ducts and the combustible residues accumulated on duct walls, flames and hot gases were transported throughout the system in a short period of time. Furthermore, it was assessed that the existing general-volume detection and suppression systems may be insufficient for fire scenarios of this nature — ones that develop rapidly and occur within confined duct volumes.

In light of the findings obtained, it was emphasized that the design of industrial ventilation systems must go beyond standard smoke control approaches. Engineering measures such as fast-detection detectors specific to aspiration lines, integration of local suppression systems, appropriate duct material selection, and system compartmentalization are recommended as fundamental elements of fire protection. This study demonstrates that CFD-based analyses are an effective method for advancing fire safety design in industrial facilities.

Key words: Computational Fluid Dynamics (CFD), FDS, Aspiration Systems, Industrial Fire

1. GİRİŞ

Tekstil terbiye ve kurutma tesislerinde kullanılan aspirasyon sistemleri; çalışma prensipleri gereği yüksek sıcaklık, kimyasal uçucular ve yanıcı toz ile lif kalıntılarını sürekli olarak taşımaktadır. Bu koşullar, kanal sistemi içinde biriken artıkların tutuşması ve alevin sistem boyunca hızla ilerlemesi için elverişli bir ortam oluşturmaktadır. FM Global tarafından yayımlanan tekstil fabrikalarına yönelik yangından korunma rehberinde [1], bitim ve kurutma işlemlerinin gerçekleştirildiği bölümlerdeki fırınlar, kurutucular ve bu ekipmanlara bağlı egzoz kanallarının yangın olaylarının en sık görüldüğü noktalar arasında yer aldığı belirtilmekte; manifold bağlantılı egzoz kanallarında otomatik sprinkler koruması sağlanmasının, yangının birbiriyle bağlantılı birimlere yayılmasını önlemek açısından zorunlu olduğu vurgulanmaktadır. Endüstriyel tesislerde meydana gelen yangınların büyük bölümü, yangının kökeni ve yayılım mekanizmaları bakımından ilk incelemede yanıltıcı izlenimler bırakmakta; bu durum hem mühendislik hem de hukuki açıdan yanlış değerlendirmelere yol açabilmektedir [2].

Yangın olaylarının gerçek nedenlerinin belirlenmesinde tek bir disiplinin bulguları çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Saha incelemeleri, laboratuvar analizleri ve sayısal modellemenin bir arada kullanıldığı çok disiplinli yaklaşımlar, bu tür olayların daha doğru değerlendirilebilmesi açısından giderek yaygınlaşmaktadır [3,4]. Özellikle kapalı hacimlerde ve kanal sistemlerinde gelişen yangınlarda, alevin ilerleyişini ve sıcak gaz taşınımını doğrudan gözlemlemek mümkün olmadığından, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) temelli modelleme yöntemleri bu boşluğu doldurmada belirleyici bir rol üstlenmektedir [5]. Ayrıca, endüstriyel egzoz sistemlerine yönelik FM Global rehberinde [6] de vurgulandığı üzere, birbirine bağlı kanallar yangını kökeninden uzak noktalara hızla taşıyabilmekte; kanalların iç yüzeylerinde erişim güçlüğü nedeniyle itfaiye müdahalesinin söndürme açısından sınırlı kalması, soruşturma süreçlerini daha da güçleştirmektedir.

Havalandırma ve aspirasyon kanallarında yangın yayılımının incelenmesi, literatürde ağırlıklı olarak tünel yangınları ve bina HVAC sistemleri bağlamında ele alınmıştır. Lee ve ark. [7], kanal yangınları ile havalandır-

ma akışının etkileşimini deneysel olarak inceleyerek kanal içi akış koşullarının alev yayılımı üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuştur. Wahlqvist ve van Hees [8], büyük ölçekli mekanik havalandırmalı yangın senaryolarında FDS alt modellerinin doğrulanması üzerine deneyler gerçekleştirmiş; Overholt ve ark. [9] ise havalandırma kanallarında is çökelme tahminlerini deneysel verilerle karşılaştırarak FDS'in bu alandaki kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Maragkos ve ark. [10], duman ekstraksiyon sistemi kanallarının farklı tasarımlarını karşılaştırarak FDS simülasyonlarının duyarlılığını sorgulamıştır. Yakın dönemde gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada [11] ise büyük çaplı endüstriyel egzoz kanallarında yakıt-zengin ve oksijen-zengin olmak üzere iki farklı yangın yayılım modu incelenerek farklı çap ve havalandırma koşulları için ölçekli test yöntemleri önerilmiştir.

Bina HVAC sistemleri bağlamında yürütülen çalışmalarda mekanik havalandırmanın duman kontrolü üzerindeki rolü çeşitli senaryolar altında modellenmiş [12]; kapalı hacimlerde üst ve alt havalandırma koşullarının yangın dinamiğine etkisi CFD ile sayısal olarak değerlendirilmiştir [13]. Delemont ve Martin [5], adli yangın soruşturmalarında CFD modellerinin uygulanmasından kaynaklanan güçlükleri ve analitik basitleştirmelerin sonuçlar üzerindeki etkilerini tartışmıştır. Rein ve ark. [14] ise tek katlı yapılarda üç farklı modelleme yaklaşımını karşılaştırarak basitleştirilmiş analitik modeller ile FDS gibi karmaşık alan modellerinin benzer başlangıç koşullarında uyumlu sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Tekstil ve kurutma tesislerine özgü yangın dinamiklerinin sayısal yöntemlerle incelendiği çalışmalar ise literatürde oldukça sınırlı kalmaktadır. Mevcut çalışmalar genel olarak bina yangın güvenliği veya tünel yangını senaryoları üzerine yoğunlaşmakta; endüstriyel aspirasyon sistemlerinin gerçek bir yangın olayı bağlamında çok disiplinli bir çerçevede ele alındığı kapsamlı çalışmalar yer almamaktadır. Bu çalışmada, tekstil terbiye tesisinde gerçekleşen bir yangın olayı saha bulguları, laboratuvar analizleri ve FDS tabanlı CFD modellemeleri kullanılarak çok disiplinli bir yaklaşımla incelenmiştir. Geliştirilen senaryolar, olaya müdahale eden itfaiye ekibinin raporu ve şirket yetkililerinin ifadeleri temel alınarak kurgulanmış; aspirasyon sisteminin işleyişine bağlı iki hipotez sayısal olarak sınanmıştır. Birinci hipotez, yangının Tip 1 hattındaki dışarı atım davlumbazından aspirasyon kanalına girerek kanal boyunca yatay ilerlediğini öngörmekte; ikinci hipotez ise alevin Tip 2 ve Tip 3 makinelerine bağlı dikey egzoz kanalları aracılığıyla aşağı yönde kurutma ünitelerine ulaştığını varsaymaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, tekstil terbiye tesisinde meydana gelen yangın olayının nedenleri ve yayılım mekanizması; saha incelemesi, laboratuvar analizleri ve sayısal modelleme aşamalarından oluşan çok disiplinli bir yaklaşımla araştırılmıştır.

İncelenen tesis, 5 m kat yüksekliğine sahip tek katlı bir yapıdan oluşmaktadır. Binanın kuzey cephesi boyunca 12 m genişliğinde bir kurutma ünitesi bölümü yer almakta olup bu bölümde farklı kumaş özelliklerine göre tasarlanmış üç ayrı kurutma hattı (Tip 1, Tip 2 ve Tip 3) bulunmaktadır. Kurutma ünitelerinin üst çıkışlarına bağlı üç metal davlumbaz mevcuttur. Bu davlumbazlar aracılığıyla kurutma birimlerinde oluşan sıcak hava, gaz ve toz karışımı; 250 mm ve 300 mm çapındaki borular vasıtasıyla ana aspirasyon kanalına iletilmektedir. Sistemin merkezinde konumlanan ve 18 kW gücünde bir elektrik motoru tarafından tahrik edilen fan ünitesi, saatte 30.000 m^3 hava çekme kapasitesine sahiptir.

Birinci aşamada, inşaat mühendisliği, makine mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği ve kimya mühendisliği disiplinlerinden araştırmacılar yangın mahallinde saha incelemesi gerçekleştirmiştir. Bu süreçte yangının başladığı bölge tespit edilmiş, elektrik tesisatı değerlendirilmiş, aspirasyon kanalı boyunca görsel inceleme yapılmış ve tesisin yangın güvenliği altyapısı belgelenmiştir. Saha incelemesi kapsamında, yangın mahallinde kumaş kesme makinesinin çıkışında simetrik konumlandırılmış iki motordan birinde yanma izleri tespit edilmiş; diğer motorun ve elektrik panosunun sağlam olduğu gözlemlenmiştir. Aspirasyon kanalının yangın başlangıç noktasından yaklaşık 60 m uzaklıktaki kuzeydoğu cephe menfezinde is birikintisi saptanması, yangın yayılımının kanal boyunca gerçekleştiğine işaret etmiş ve iki farklı hipotezin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

İkinci aşamada, tesisten 13 farklı noktadan alınan örnekler üzerinde laboratuvar analizleri yürütülmüştür. Analizler, Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 29 farklı yangın başlatıcı/hızlandırıcı maddenin varlığı araştırılmıştır. Numuneler, dışarıdan getirilen yanıcı kimyasal madde kullanılıp kullanılmadığını belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir.

Üçüncü aşamada, birinci hipotez kapsamında aspirasyon sisteminin tam kapasite (30.000 m^3/s) çalışması koşulunda kanal içi hava akışı ve duman yayılımı incelenmiştir. İkinci hipotez kapsamında ise Tip 2 ve Tip 3 makinelerine bağlı dikey egzoz kanalları boyunca aşağı yönlü alev yayılımının gerçekleşip gerçekleşmediği araştırılmıştır. Sayısal analizler, ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından geliştirilen açık kaynaklı Yangın Dinamiği Simülatörü (FDS) programı ile yürütülmüştür [17]. Numerik model, hesaplama süresini azaltmak amacıyla iki ayrı bölge olarak kurgulanmış ve 42 ayrı ağ yapısına bölünmüştür. Ağ hücre boyutları 0,125 m ile 0,5 m arasında değişmekte olup toplam 203.924 hücreden oluşan yüksek çözünürlüklü bir analiz gerçekleştirilmiştir. Model hazırlanmasında ASTM E1355-04 [18] ve ISO 16730-1:2015 [19] standartlarında öngörülen prosedürler esas alınmıştır. Simülasyon süresi, yangına müdahale edilen ana karşılık gelen 1200 s (20 dakika) olarak belirlenmiştir. Yakıcı yüzeylerin ısı salım hızı 2,0 kW/m^2 ve toplam yakıcı yüzey alanı 0,84 m^2 olarak tanımlanmıştır. Elde edilen bulgular, her üç aşamadan toplanan verilerle birlikte değerlendirilerek yangının olası nedenleri ve yayılım mekanizması belirlenmeye çalışılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Saha İncelemesi Bulguları

Saha incelemesinde yangının, kumaş kesme makinesinin çıkışında atık parça emişi için konumlandırılmış motorlardan birinin yakınında başladığı tespit edilmiştir. Simetrik konumdaki diğer motorda herhangi bir yanma izi bulunmamış; elektrik panosu ve sigortaların sağlam olduğu gözlemlenmiştir. Motor sargılarında yanma izleri mevcut olmakla birlikte, motor kapağında alev izine rastlanmamıştır. Elektrik tesisatının tamamında akım artışına dair herhangi bir deformasyon tespit edilmemiştir. Bu bulgular değerlendirildiğinde, yangının elektrik kaynaklı bir arızadan değil; emme hortumundan motor sargıları arasına çekilen yağlı veya erimiş ikincil malzemelerin yalıtımı bozması sonucunda geliştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Aspirasyon kanalının yangın başlangıç noktasına zıt yönde, yaklaşık 60 m uzaklıktaki kuzeydoğu cephe menfezinde is birikintisi saptanmıştır. Tesisin yangın anında duman algılama ve alarm sistemi ile duman tahliye sisteminden yoksun olduğu belirlenmiştir. İç hortum sistemi ve sprinkler sistemi mevcut olmakla birlikte, inceleme sırasında pompanın boru bağlantı sızıntıları nedeniyle çalışır durumda olmadığı öğrenilmiştir.

3.2. Laboratuvar Analizi Bulguları

Tesisin farklı noktalarından alınan 13 adet numune üzerinde GC-MS analizi gerçekleştirilmiş; 29 farklı yangın başlatıcı ve hızlandırıcı maddenin varlığı araştırılmıştır [22]. Yapılan analizlerde incelenen maddelerden hiçbiri numunelerde tespit edilememiştir. Bu durumun iki olası açıklaması bulunmaktadır: yangın başlatıcı ve hızlandırıcı maddeler uçucu nitelikleri nedeniyle yangın sırasında tamamen buharlaşmış olabilir ya da yangın olayı ile numune toplama arasında geçen yaklaşık 6 günlük süre, bu maddelerin yangın mahallinden uzaklaşmasına yol açmış olabilir. Numunelerde dışarıdan getirilmiş kimyasal madde kullanıldığına dair herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

3.3. Sayısal Modelleme Bulguları

3.3.1. Hipotez 1: Yangının Kanal Boyunca Yatay Yayılımı

Aspirasyon sisteminin saatte 30.000 m³ kapasitede tam olarak çalıştığı koşulda yürütülen CFD analizinde, sistemin her iki yönden kirli hava çekerek merkeze doğru ilettiği görülmüştür. Kanal içindeki hava akış hızı 10,8 km/s (3 m/s) olarak hesaplanmış olup bu değer açık havada rahatsızlık vermeye başlayan rüzgar hızıyla kıyaslanabilir düzeydedir. Bu akış hızı koşullarında, duman, kıvılcım veya yanıcı lif parçacıklarının aspirasyon fanının oluşturduğu ters akıma karşı ilerleyerek kuzeydoğu cephe menfezine (B Noktası) ulaşması fiziksel olarak mümkün görünmemektedir. Dolayısıyla bu hipotez, CFD analizi sonuçlarıyla örtüşmemektedir.

3.3.2. Hipotez 2: Yangının Dikey Kanallar Aracılığıyla Aşağı Yönde Yayılımı

Tip 2 ve Tip 3 makinelerine bağlı davlumbaz bağlantı noktalarından aşağı yönlü alev yayılımının incelendiği bu hipotezde, havalandırma fanının oluşturduğu hava akışının davlumbaz kesitindeki hızı 3,4 km/s (0,09 m/s) olarak hesaplanmıştır. Bu akış hızı koşullarında, duman veya alevin davlumbaz kanalları boyunca aşağı yönde ilerlemesi mümkün değildir.

Kanal iç yüzeyinde biriken yanıcı tabakanın kütlesel yoğunluğu, Vyhlidalova ve ark. [23]'da tanımlanan referans kirlilik sınırının yaklaşık 20 katı olan 20 g/m² olarak hesaplanmıştır. Bu tabaka için Grover ve ark. [24]'da verilen sentetik iplik yanma ısısı değerleri esas alınarak ve 2 güvenlik katsayısı uygulanarak ısı salım hızı CFD modelinde 4 kW/m² olarak tanımlanmıştır. Yanıcı malzemenin yatay yayılım hızı ise Fardell [25]'de farklı kumaş türleri için deneysel olarak belirlenen değerler temel alınarak 150 mm/dak olarak belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kanal iç yüzeyinin sıcaklığı 1200 s sonunda 140-160°C arasında seyretmiştir. Kanalda hareket eden duman tabakasının sıcaklığı ise alevin doğrudan etkisine maruz kalan bölgelerde 95°C'ye ulaşırken, uzak bölgelerde 35°C'ye kadar düştüğü görülmüştür. Aleve doğrudan maruz kalmayan bölgelerdeki duman sıcaklığının, kanalda biriken polimer içerikli malzemenin tutuşma sıcaklığının yaklaşık 200°C altında kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgular, söz konusu koşullar altında yangının aspirasyon kanalı aracılığıyla Tip 2 ve Tip 3 ünitelerine ulaşmasının fiziksel olarak güç olduğuna işaret etmektedir.

Tip 2 makinesi kurutma ünitesinde ve emici fan haznesinin dış yüzeyinde alev ve is yanması izlerine rastlanmıştır. Tip 3 makinesinde ise yüksek enerjili yanmaya özgü renk değişimleri gözlemlenmiş; ancak bu ünitede alev ve is yanmasına dair belirgin iz tespit edilmemiştir. Yangın başlangıç noktasından itibaren aspirasyon kanalı boyunca yaklaşık 32 m mesafedeki birimlere yangının ulaşamadığı değerlendirilmiştir.

Tüm bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, aspirasyon sisteminin yangın sırasında ya çalışmadığı ya da yangın başladıktan bir süre sonra durduğu sonucuna ulaşılmıştır. Her iki hipotez de CFD analizi sonuçları ile saha gözlemleri açısından tutarsızlıklar içermekte olup olaya müdahale eden itfaiye ekibinin ilk raporunda öne sürülen yayılım senaryosu doğrulanamamıştır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada uygulanan çok disiplinli yaklaşım, yangın olayının nedenine ve yayılım mekanizmasına ilişkin itfaiye ekibinin ilk raporunda yer alan değerlendirmelerin bir bölümünün yeniden sorgulanmasını gerektirmiştir. İlk raporda elektrik motoru birincil tutuşma kaynağı olarak gösterilmiş ve aspirasyon sisteminin çalışır durumda olmasının yangının komşu makinelere yayılmasını hızlandırdığı ileri sürülmüştür. Ancak saha incelemesi, laboratuvar analizleri ve CFD modellemesinden elde edilen bulgular bu senaryoyu bütünüyle desteklememektedir.

Elektrik kaynaklı tutuşma olasılığı, simetrik konumdaki motorun ve bağlı elektrik tesisatının sağlam bulunması, motor kapağında alev izine rastlanmaması ve besleme kablolarında herhangi bir deformasyon gözlemlenmemesi gerekçesiyle dışlanmıştır. Buna karşın, emme hortumunun yangın mahallinde yanmış olmasına karşın motorun dış gövdesinin sağlam kalması, yanan parçacıkların hortum aracılığıyla motor sargıları arasına çekildiği ve burada yalıtımı tahrip ettiği hipotezini desteklemektedir. Delemont ve Martin [5]'in de vurguladığı üzere, yangın mahallindeki fiziksel kanıtların bütüncül bir disiplinler arası perspektifle değerlendirilmesi, tekil gözlemlere dayalı sonuçlara kıyasla çok daha güvenilir bulgular ortaya koymaktadır.

Kimyasal analiz aşamasında hiçbir yangın hızlandırıcı maddeye rastlanmamış olması, dışarıdan kimyasal madde getirildiği olasılığını kesin olarak dışlamamaktadır. Yangın olayı ile numune toplama arasındaki yaklaşık 6 günlük süre, uçucu nitelikteki bu maddelerin buharlaşması için yeterlidir. Nitekim NFPA 921 [33] ve ASTM E1618 [32] standartları, yangın yerinden kimyasal kanıt toplanmasının olay sonrasında mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada karşılaşılan gecikme, olası kimyasal kanıtların değerlendirilebilirliğini sınırlandırmış; kimyasal analiz bulgularının yorumlanmasında bu kısıtın göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

CFD analizleri, her iki hipotez açısından da önemli bulgular ortaya koymuştur. Hipotez 1 kapsamında hesaplanan 3 m/s'lik kanal içi hava akış hızı, duman veya alev parçacıklarının aspirasyon fanına karşı ilerleyerek kuzeydoğu cephe menfezine ulaşmasının pratik olarak mümkün olmadığını göstermektedir. Bu bulgu, söz konusu menfezde saptanan is birikintisinin yangın anındaki aspirasyon sistemi çalışmasıyla açıklanamayacağına işaret etmekte; sistemin yangın sırasında ya hiç çalışmadığını ya da bir noktada devre dışı kaldığını düşündürmektedir. Hipotez 2 kapsamında ise davlumbaz kesitindeki 0,09 m/s'lik hava akış hızının, aşağı yönlü alev ilerleyişini engellemek için yeterli olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, kanalda biriken yanıcı tabakadan kaynaklanan duman sıcaklığının polimer malzemelerin tutuşma eşiğinin belirgin biçimde altında seyretmesi, yangının bu mekanizma ile Tip 2 ve Tip 3 ünitelerine ulaşmış olma olasılığını zayıflatmaktadır.

Tip 2 makinesinde gözlemlenen alev ve is izleri ile Tip 3 makinesinde saptanan yüksek enerjili yanmaya özgü renk değişimleri, bu birimlerin yangından etkilendiğine işaret etmekle birlikte, CFD sonuçları yangının aspirasyon kanalı aracılığıyla bu noktalara ulaşamayacağını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla söz konusu izlerin, yangının aspirasyon sistemi dışında kalan bir yayılım yoluyla ya da her iki birimin yakınında bağımsız olarak gelişen ikincil bir tutuşmayla açıklanması gerekmektedir. Yang ve ark. [16]'nın da belirttiği gibi, yangın olaylarının tekrarlanabilirlik düzeyinin düşük olması ve gelişim sürecinin karmaşık yapısı, CFD modellemesini adli soruşturmalarda vazgeçilmez bir araç kılmakta; ancak modelleme sonuçlarının saha ve laboratuvar verileriyle bütünleşik biçimde yorumlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın kapsamındaki kısıtlamalar da göz önünde bulundurulmalıdır. Tesiste güvenlik kamerası ve anlık duman algılama sistemi bulunmaması, yangının farklı aşamalarına ilişkin zaman damgalı veri elde edilmesini olanaksız kılmıştır. Bu eksiklik, CFD modelinin doğrulanmasını güçleştirmiş ve alternatif senaryoların daha kesin bir biçimde elenememesine yol açmıştır. Öte yandan FM Global tarafından yayımlanan endüstriyel egzoz sistemleri rehberinde [6] de vurgulandığı üzere, kanalların iç yüzeylerinin erişim güçlüğü nedeniyle yangın sırasında sahadan fiziksel kanıt toplanması mümkün olmamış; bu durum sayısal modellemeye olan bağımlılığı artırmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, çok disiplinli yaklaşımın yangın soruşturmalarındaki belirleyici rolü bir kez daha teyit edilmektedir. Simcox ve ark. [15]'nın King's Cross metro yangını soruşturmasında gösterdiği gibi, alan modellemenin en önemli katkılarından biri yangın dinamiklerini anlamak için gereken varsayım sayısını azaltmasıdır. Bu çalışmada da CFD modellemesi, olası yayılım mekanizmalarının sistematik olarak sınanmasına ve ilk soruşturma raporundaki senaryonun fiziksel tutarsızlıklarının ortaya konulmasına imkan tanımıştır. Bununla birlikte, Delemont ve Martin [5]'in de uyardığı üzere, analitik basitleştirmeler ve sınır koşullarına ilişkin belirsizlikler yangın modellerinin gerçek koşulları tam anlamıyla yansıtma kapasitesini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle CFD bulgularının, saha ve laboratuvar verileriyle desteklenmeden tek başına kesin bir sonuca dayanak oluşturması beklenmemelidir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekstil terbiye tesisinde meydana gelen yangın olayı; saha incelemesi, laboratuvar analizleri ve FDS tabanlı CFD modellemesini kapsayan çok disiplinli bir yaklaşımla incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Yangının elektrik kaynaklı bir arızadan değil, emme hortumundan motor sargıları arasına çekilen yağlı veya erimiş ikincil malzemelerin yalıtımı tahrip etmesi sonucunda geliştiği değerlendirilmektedir. Simetrik konumdaki motorun ve elektrik tesisatının sağlam bulunması, motor kapağında alev izine rastlanmaması bu sonucu destekleyen başlıca bulgulardır.

Kimyasal analizlerde dışarıdan getirilmiş yangın hızlandırıcı maddeye ilişkin herhangi bir kanıta ulaşılamamıştır. Bununla birlikte, olay ile numune toplama arasındaki yaklaşık 6 günlük sürenin bu maddelerin buharlaşmasına yol açmış olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu bulgu, yangın mahallinde kimyasal kanıt toplanmasının olay sonrasında en kısa sürede gerçekleştirilmesinin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

CFD analizleri, her iki hipotezin de fiziksel olarak mümkün olmadığını ortaya koymuştur. Aspirasyon sisteminin tam kapasite çalıştığı koşulda hesaplanan 3 m/s'lik kanal içi hava akış hızı, duman ve alevin ters yönde ilerleyerek uzak menfeze ulaşmasını engellemektedir. Davlumbaz kesitindeki 0,09 m/s'lik hava akış hızı ise aşağı yönlü alev yayılımını fiziksel olarak olanaksız kılmaktadır. Bu bulgular, aspirasyon sisteminin yangın sırasında ya çalışmadığını ya da bir noktada devre dışı kaldığını düşündürmektedir.

Tesisin duman algılama ve alarm sisteminden, duman tahliye sisteminden ve işlevsel bir sprinkler sisteminden yoksun olduğu belirlenmiştir. Bu eksiklikler, yangının erken aşamada tespit edilememesine ve müdahalenin gecikmesine zemin hazırlamıştır. Endüstriyel aspirasyon sistemlerinde hızlı algılama dedektörlerinin ve lokal söndürme sistemlerinin kullanılması, yangından korunma açısından belirleyici bir öneme sahiptir.

Son olarak, olaya müdahale eden itfaiye ekibinin ilk raporunda öne sürülen yayılım senaryosunun, çok disiplinli inceleme yoluyla elde edilen bulgularla örtüşmediği görülmüştür. Aynı CFD modelini kullanan farklı ekiplerin birbirinden önemli ölçüde farklı sonuçlar ürettiğini gösteren Dalmarnock yuvarlak masa çalışması [15], model kullanıcısının kararlarına ve sınır koşullarına bağlı belirsizliklerin çıktıları doğrudan etkilediğini ortaya koymakta; bu durum karmaşık yangın senaryolarında modelleme sonuçlarının saha ve laboratuvar verileriyle bütünleşik yorumlanması gerekliliğini teyit etmektedir. Bu sonuç, endüstriyel yangın soruşturmalarında çok disiplinli yaklaşımın ve CFD modellemesinin birlikte kullanılmasının gerekliliğini somut biçimde ortaya koymaktadır.

6. KAYNAKLAR

[1] FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 7-1: Fire Protection for Textile Mills, Factory Mutual Insurance Company, 2020, USA.

[2] Arpacıoğlu, Ü. (2004) System installation and material use in protection against the effect of fire in high building systems, 2nd National Building Materials Congress, October 6-8, 2004.

[3] Muller, A., Demouge, F., Jeguirim, M., Fromy, P., Vantelon, J.P., The use of Petri nets and a two-zone model for fire scene reconstruction, Fire Saf. J. 55 (2013) 139-151.

[4] Ada, M., Yüzer, N., Ayvaz, Y., Postfire damage assessment of a RC factory building, J. Perform. Constr. Facil. 33 (5) (2019), 04019047.

[5] Delemont, O., Martin, J.C., Application of computational fluid dynamics modelling in the process of forensic fire investigation: problems and solutions, Forensic Sci. Int. 167 (2-3) (2007) 127-135.

[6] FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 7-78: Industrial Exhaust Systems, Factory Mutual Insurance Company, 2021 (Rev. 2024), USA.

[7] Lee, C.K., Chaiken, R.F., Singer, J.M., Interaction between duct fires and ventilation flow: an experimental study, Combust. Sci. Technol. 20 (1-2) (1979) 59-72.

[8] Wahlqvist, J., Van Hees, P., Validation of FDS for large-scale well-confined mechanically ventilated fire scenarios with emphasis on predicting ventilation system behavior, Fire Saf. J. 62 (2013) 102-114.

[9] Overholt, K.J., Floyd, J.E., Ezekoye, O.A., Computational modeling and validation of aerosol deposition in ventilation ducts, Fire Technol. 52 (2016) 149-166.

[10] Maragkos, G., Van Maele, K., Piontkowski, W., Annerel, B., Merci, B., Computational analysis of choices in the design of smoke extraction duct systems (SEDS) for compartment fires, Fire Technol. 58 (4) (2022) 2189-2212.

[11] Salami, O.B., Brune, J.F., Xu, G., An experimental investigation of fire dynamics in large-diameter industrial exhaust ducts and development of a scaled testing approach, Process Safety and Environmental Protection, 2026.

[12] Burdun, A. et al., Impact of Fire Source Locations and Ventilation Strategies on Indoor Environments: An FDS Simulation Study, MDPI Fire, 9(1), 22, 2025.

[13] Węgrzyński, W., Lipecki, T., Numerical Analysis of Smoke Spreading in a Medium-High Building under Different Ventilation Conditions, Atmosphere, 12(6), 705, 2021.

[14] Rein, G., Bar-Ilan, A.C., Fernandez-Pello, N., Alvares, A comparison of three models for the simulation of accidental fires, J. Fire Prot. Eng. 16 (3) (2006) 183-209.

[15] Rein, G., Torero, J.L., Jahn, W., Stern-Gottfried, J., Ryder, N.L., Desanghere, S., Lázaro, M., Mowrer, F., Coles, A., Joyeux, D., Alvear, D., Capote, J.A., Jowsey, A., Abecassis-Empis, C., Reszka, P., Round-robin study of a priori modelling predictions of the Dalmarnock Fire Test One, Fire Saf. J. 44 (2009) 590-602.

[16] Simcox, S., Wilkes, N.S., Jones, I.P., Computer simulation of the flows of hot gases from the fire at King's Cross underground station, Fire Saf. J. 18 (1) (1992) 49-73.

[17] Yang, P., Tan, X., Xin, W., Experimental study and numerical simulation for a storehouse fire accident, Build. Environ. 46 (7) (2011) 1445-1459.

[18] McGrattan, K.B., McDermott, R.J., Weinschenk, C.G., Forney, G.P., Fire Dynamics Simulator User's Guide, NIST Special Publication 1019 Sixth Edition, 2000.

[19] ASTM E1355-04, Standard Guide For Evaluating The Predictive Capability Of Deterministic Fire Models, American Society for Testing and Materials, USA.

[20] ISO 16730-1:2015 - Fire safety engineering — Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods, International Organization for Standardization, Switzerland, 2015.

[21] Hwang, C., Edwards, J., The critical ventilation velocity in a tunnel cross-passage, J. China Railw. Soc. 30 (2008) 87-90.

[22] Gultek, A.S., Bilge, Z.D., Experimental and numerical investigation of temperature change during tunnel fires on a model, Sigma J. Eng. Nat. Sci. 35 (3) (2017) 545-556.

[23] Mercan, S., Sen Yilmaz, A., Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Medicine and Forensic Sciences Fire and Explosives Analysis Laboratory, 2021.

[24] Vyhlidalova, K., Vlček, P., Rubinová, O., Bernard, J., Dust analyses in ventilation ducts, in: Applied Mechanics and Materials, Vol. 824, Trans Tech Publications Ltd., 2016, pp. 633-640.

[25] Grover, T., Khandual, A., Luximon, A., Fire Prot. Flammabl. Text. Fibres Saf. 1 (2014) 11.

[26] Fardell, P., Tests for the ignition and flame spread of clothing fabrics subjected to angle grinder sparks, Research Report, Health and Safety Executive, UK, 2014, p. 222.

[27] EN ISO 10528 Textiles commercial laundering procedure for textile fabrics prior to flammability testing, International Organization for Standardization, Switzerland, 2002.

[28] Standard 302: Flammability of interior fabrics, Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS), US Federal Register Vol. 36. N0 232, USA.

[29] Razali, M.A., Sapit, A., Hushim, M.F., Khalid, A., Masataro, S., Wataru, M., Flame spread behavior over combined fabric of cotton/polyester, Int. Eng. Res. Innov. Symp. (2015).

[30] Hirano, T. (2001). Flame Spread. In Fire Sci. Technol., Proc. Fifth Asia-Oceania Symp.

[31] Walters, R.N., Hackett, S.M., Lyon, R.E., Heats of combustion of high temperature polymers, Fire Mater. 24 (5) (2000) 245-252.

[32] ASTM E1618, Standard Guide for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry, American Society for Testing and Materials, USA, 2014.

[33] NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 2021.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Ali Serdar GÜLTEK

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Amerika Birleşik Devletleri, Worcester Polytechnic Institute okulundan Yangın Güvenlik Mühendisliği Yüksek Lisans derecesini aldı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünden Doktora derecesini aldı. A Sınıfı iş güvenliği uzmanı, NEBOSH-IGC sertifikası sahibidir. Özel sektörde yaptığı çalışmalardan sonra halen İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu "Sivil Savunma ve İtfaiyecilik" ile "Özel Güvenlik ve Koruma" programlarında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

DUMAN KONTROL MÜHENDİSLİK HESAP YAZILIMI İLE DUMAN KONTROLÜ VE BASINÇLANDIRMA SİSTEMLERİNİN ULUSLARARASI STANDARTLARA GÖRE ANALİZİ

Okan TOKER

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET

Duman kontrolü sistemlerinin tasarımı, yangın güvenliği mühendisliğinin en kritik bileşenlerinden biri olup, farklı kullanım senaryoları ve yapı tiplerine bağlı olarak çok sayıda parametrenin eş zamanlı değerlendirilmesini gerektirmektedir. Aynı fiziksel olgu; ABD (NFPA 92), Avrupa (CEN/TR 12101-5, EN 12101 serisi), Birleşik Krallık (BS 9999, Approved Document B, BS 7346-4, BRE 368) ve Rusya (SP 7.13130.2013. Handbook 4.91) standartlarında farklı ampirik bağıntı, kabul ve emniyet katsayılarıyla modellenmekte; tasarımcının projenin tabi olduğu standarda veya yasal düzenlemeye uygun yöntemi seçmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerin farklı yaklaşımlarına göre hesapların kolay ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için özel bir mühendislik yazılımı geliştirilmiştir.

Bu bildiride, bu farklı standartlara göre geliştirilmiş hesaplama yöntemleri kıyaslanmakta, bilimsel gerekliliker ve farklılıklar hakkında detaylı analiz yapılmakta, bu bir ölçüde karmaşık hesaplamaların kolay ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için hazırlanmış duman kontrol sistemleri mühendislik hesapları yazılımının kapsamı ve işlevleri hakkında bilgi sunulmaktadır. Yazılım içeriğindeki menüler (hesaplama modülleri), NFPA 92 tabanlı eksenel simetrik duman yayılımı, balkon taşma duman yayılımı, pencere duman taşma yayılımı yüzeye bitişik duman taşma yayılımı, duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi varyantları, CEN/TR 12101-5 hızlı menüler ile Annex A'dan F'ye kadar kullanılan zincir hesap yöntemleri, SP 7.13130 / El Kitabı 4.91 otopark, koridor, kamusal alan ve atrium duman kontrol hesaplamaları, EN 12101-13:2022 basınçlandırma sistemleri kapsamında yer alan 9 ayrı alternatif için hesaplama yöntemleri ve duman kontrolü ile ilgili kullanılan çeşitli hesap araçlarından oluşmaktadır. Her menü için; (1) hesabın neden gerekli olduğu ve kullanım alanı, (2) kullanılmaması gereken durumlar, (3) Ülke yasal düzenleme ve standartları gereklilikleri, (4) formüller ile formüldeki tüm değişkenlerin tanım ve birimleri, (5) girdi değişkenleri (tanım + birim) ve (6) sonuç/çıktı değişkenleri (tanım + birim) sistematik olarak yazılımın bilgi ve yardım bölümlerinde sunulmaktadır. Tüm formüller; NFPA 92 Edition 2024, CEN/TR 12101-5:2005, BRE 368, BS 7346-4:2003, SP 7.13130.2013 / El Kitabı 4.91, MP ve EN 12101-13:2022 kaynaklarına birebir uygun test edilmiştir.

Sonuç olarak, yazılımla yapılan çalışmanın; hesaplama doğruluğunu artırdığı, mühendislik sürecini hızlandırdığı ve farklı ülke yasal düzenlemelerine ve standartlarına uyumlu tasarım yapılmasına olanak sağladığı ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımın, özellikle karmaşık yapı projelerinde mühendislik karar süreçlerini destekleyen etkin bir araç olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Duman kontrolü, duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi (plugholing), basınçlandırma, yangın güvenliği, NFPA 92, CEN/TR 12101-5, BRE 368, BS 7346-4, SP 7.13130, EN 12101-13, mühendislik hesapları, LBsoftECalc.

ANALYSIS OF SMOKE CONTROL AND PRESSURIZATION SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH INTERNATIONAL STANDARDS USING A SMOKE CONTROL ENGINEERING SOFTWARE

ABSTRACT

The design of smoke control systems is one of the most critical components of fire safety engineering, requiring the simultaneous evaluation of numerous parameters depending on different usage scenarios and building types. The same physical phenomenon is modeled with different empirical relationships, acceptance factors, and safety factors in the US (NFPA 92), European (CEN/TR 12101-5, EN 12101 series), UK (BS 9999, Approved Document B, BS 7346-4, BRE 368), and Russian (SP 7.13130.2013, Handbook 4.91) standards; the designer must choose the method appropriate to the standard or legal regulation applicable to the project. To facilitate easy and reliable calculations according to the different approaches of different countries, LBsoftECalc software has been developed.

This paper compares calculation methods developed according to these different standards, provides a detailed analysis of scientific requirements and differences, and presents information about the scope and functions of smoke control system engineering calculation software designed to facilitate easy and reliable calculations of these somewhat complex systems. The software's menus (calculation modules) consist of NFPA 92-based axisymmetric plume, balcony spill plume, window spill plume, adhered spill plume and plugholing analysis; CEN/TR 12101-5 quick menus with chain calculation methods used from Annex A to F; SP 7.13130 / Manual 4.91 parking lot, corridor, public area, and atrium smoke control calculations; calculation methods for nine different alternatives within the scope of EN 12101-13:2022 pressurization systems; and various calculation tools used in relation to smoke control. For each menu: (1) the reasons why the calculation is necessary and its application area, (2) situations where it should not be used, (3) national legal regulations and standards requirements, (4) formulas and the definitions and units of all variables in the formulas, (5) input variables (definition + unit) and (6) result/output variables (definition + unit) are systematically presented in the information and help sections of the software. All formulas have been tested to be fully compliant with NFPA 92 Edition 2024, CEN/TR 12101-5:2005, BRE 368, BS 7346-4:2003, SP 7.13130.2013 / Manual 4.91, MR and EN 12101-13:2022 sources. As a result, it has been shown that working with the software increases calculation accuracy, accelerates the engineering process, and enables design in compliance with different national legal regulations and standards. This approach is considered an effective tool to support engineering decision-making processes, especially in complex structural projects.

Key words: Smoke control, plugholing, pressurization, fire safety, NFPA 92, CEN/TR 12101-5, BRE 368, BS 7346-4, SP 7.13130, EN 12101-13, engineering calculations, LBsoftECalc.

1. GİRİŞ

Yangından korunma; doğrudan can güvenliğini ilgilendiren, fizik ve kimyanın temel yasalarına dayanan ve gerçek anlamda mühendislik muhakemesi gerektiren bir uzmanlık alanıdır. Duman kontrol sistemleri, bir yangın anında tahliye yollarının duman ve ısıdan arındırılmasını, güvenli tahliye olanaklarının ve ortamının sağlanmasını, itfaiye müdahalesinin güvenli biçimde yürütülmesini ve yapısal bileşenlerin korunmasını sağlayan aktif korunma sistemleridir. Bu sistemlerin tasarımı; tasarım yangını büyüklüğünün belirlenmesinden, duman yayılım kütlesel debisinin hesaplanmasına, duman tahliye/telafi havası besleme kapasitelerinin belirlenmesine ve elemanlarının boyutlandırılmasına ve menfez, doğal duman atım ünitesi veya fan sayısının, duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi kontrolüyle doğrulanmasına kadar uzanan çok aşamalı bir mühendislik sürecidir.

Uygulamada bu hesaplar farklı uluslararası standartlar tarafından, kimi zaman birbirinden farklı kabul ve yaklaşımlarla ele alınmaktadır. Bir hesap yönteminin hangi geometri ve senaryolarda geçerli olduğu kadar, hangi durumlarda kullanılması veya özellikle kullanılmaması gerektiği de tasarım güvenliği açısından belirleyicidir. Ayrıca projenin yürütüldüğü ülkenin yasal düzenlemeleri ve standartları (ABD'de IBC/NFPA, Birleşik Krallık'ta Approved Document B / BS 9999, Avrupa'da EN 12101 serisi, Almanya'da VdS, Rusya'da 123-FZ / SP 7.13130, El Kitabı 4.91) hesap yönteminin seçimini doğrudan belirler.

Geliştirilmiş Duman Kontrol Mühendislik Hesap Yazılımı, bu amaca yönelik çok standartlı bir içeriğe sahiptir. Yazılımın her hesap modülü, şu alt başlıklarda yer alır: (1) amaç ve kullanım alanı, (2) kullanılmaması

gereken durumlar ve sınırlamalar, (3) ülke standart ve yasal düzenlemeler gereklilikleri, (4) formüller ve değişken açıklamaları, (5) girdiler, (6) çıktılar.

Geliştirilen yazılım, 27 ana hesaplama menüsü ve 10 ayrı yardımcı menü içermektedir. Sayfa sayısı kısıtlaması nedeniyle tüm formülasyonlar ile girdi ve çıktı değişkenlerinin tamamına bu bildiride yer verilememiştir. Ancak her hesap menüsüne ait ayrıntılı bilgi (information) menüleri ve yazılımın yardım (help) bölümü; tüm formülleri kaynak standart ve denklem numaralarıyla, değişken tanımları ve birimleriyle birlikte bir el kitabı niteliğinde sunmaktadır.

2. YAZILIM MİMARİSİ VE GENEL YAPI

Geliştirilmiş Duman Kontrol Mühendislik Hesap Yazılımı, bulut üzerinde çalışan (SaaS) tam yığın (full-stack) bir web uygulamasıdır. Tüm mühendislik hesapları, girdiler değiştikçe anlık güncellenecek şekilde istemci tarafında (Angular) yürütülür; sunucu tarafı yalnızca kimlik doğrulama, proje kayıt/geri yükleme ve faturalandırma işlemlerini üstlenir.

Katman	Teknoloji	İşlev
Önyüz (Frontend)	Angular 19 (Standalone Components)	Arayüz, hesap motoru, PDF dışa aktarım
Arka uç (Backend)	Node.js / Express	REST API, güvenlik (Helmet CSP), proje deposu
Kimlik Doğrulama	JWT + bcrypt/argon2	Kullanıcı girişi, kredi/erişim sistemi
PDF Rapor	jsPDF + autotable	İzlenebilir hesap raporları
Dağıtım	Docker / Google Cloud Run	Ölçeklenebilir konteyner barındırma

Temel tasarım ilkesi, tüm hesapların istemci tarafında gerçek zamanlı yürütülmesidir; böylece parametre değişiklikleri sunucuya gidip gelmeden anında sonuca yansır ve tasarımcı ‘ne olur ise’ (what-if) analizlerini hızla yapabilir.

3. UYGULANAN STANDARTLAR VE ÜLKE YASAL DÜZENLEMELERİ

Yazılımdaki hesap modüllerinin dayandığı standartlar ve bu standartların bağlayıcı olduğu yasal düzenleme ve standart çerçeveleri aşağıda özetlenmiştir.

Standart / Kaynak	Kapsam	İlgili Menüler
NFPA 92 (Edition 2024)	Duman kontrol sistemleri	Eksenel simetrik duman yayılımı, balkon taşma duman yayılımı, pencere duman taşma yayılımı yüzeye bitişik duman taşma yayılımı, Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi varyantları
CEN/TR 12101-5:2005	SHEVS (duman-ısı tahliye) tasarımı	Eksenel simetrik duman yayılımı, balkon taşma duman yayılımı, yüzeye bitişik duman taşma yayılımı, Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi varyantları + Ek A-F bireysel hesapları
BRE Report 368	SHEVS tasarım metodolojileri	Taşma duman yayılımı (spill plume) (Poreh, Thomas)
SP 7.13130.2013 / El Kitabı 4.91	Rus standartları - duman kontrol sistemleri	Koridor, otopark, kamusal alan duman kontrolü
МР к СП 7.13130.2013	Rus hesap metodolojisi (atrium/ koridor)	Atrium eksenel/kompakt/taşma, komşu koridor (§3.2.1)
BS EN 12101-13:2022	Basınçlandırma Sistemleri	Merdiven ve asansör basınçlandırma, 9 örnek alternatif (Annex A/B)

4. HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Bu bölümde, duman kontrolü ve basınçlandırma sistemlerinin tasarım hesaplarında esas alınan farklı hesap metodolojileri; **kapalı form analitik bağıntılara dayalı yaklaşım** (NFPA 92), **birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yaklaşımı** (CEN/TR 12101-5, BRE 368 ve BS 7346-4), **ampirik ve yarı ampirik bağıntılara dayalı yaklaşım** (SP 7.13130, El Kitabı 4.91 ve MP) ile **tanımlı tasarım senaryoları ve performans kriterlerine dayalı yaklaşım** (EN 12101-13:2022) kapsamında yöntemsel ve sayısal olarak karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmada, yöntemlerin temel kabulleri, sınır koşulları, girdi parametreleri, hesaplama algoritmaları, formüller ve elde edilen tasarım çıktıları arasındaki farklılıklar esas alınmaktadır.

Geliştirilmiş duman kontrol mühendislik hesap yazılımı bünyesinde uygulanan hesap yöntemlerine ilişkin menü bazlı ayrıntılı formülasyonlar, kullanıcı girdileri, ara hesap büyüklükleri ve nihai tasarım çıktıları bildiri sayfa sayısının kısıtlı tutulması amacıyla yazılımın bilgi ve yardım bölümlerinde detaylı sunulmakta olup bu bölümdeki hesaplamalar ile aynıdır.

4.1 STANDARTLAR ARASI YAKLAŞIM FARKLILIKLARI

Yangından korunma, doğrudan can güvenliğini ilgilendiren, fizik ve kimyanın temel yasalarına dayanan ve mühendislik muhakemesi gerektiren bir uzmanlık alanıdır.

Bu sistemlerin tasarımı ve boyutlandırılması, kaynağı ne olursa olsun ortak bir mantıksal zincir izler: tasarım yangınının belirlenmesi, duman kütle debisinin hesaplanması, tabaka sıcaklığı ve yoğunluğunun türetilmesi, hacimsel tahliye debisine dönüşüm ve son olarak menfez ya da vantilatör (fan veya doğal duman atım ünitesi) boyutlandırma. Ancak bu zincirin ikinci halkası olan duman kütle debisinin hesaplanması, uluslararası standartlarda birbirinden yöntemsel olarak ayrışan üç ayrı biçimde ele alınmaktadır.

Birinci yaklaşım **birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözümdür**. CEN/TR 12101-5 ve dayandığı BRE Report 368, dumanın izlediği fiziksel yolu ardışık adımlara böler: yangın oluşumu ve büyüklüğü (Ek A ve Ek B serisi), yangın odasından açıklığa veya komşu alana çıkış (Ek C) bu komşu alan BRE 368'de daha yüksek komşu alan olarak tanımlıdır, balkon veya çıkma altında yatay ilerleme (Ek D), taşma kenarından (spill edge) rezervuara yükselme (Ek E, BRE 368) ve rezervuardan tahliye (Ek F). Her adımın çıktısı bir sonrakinin girdisidir. Bu yapı, geometrinin ayrıntılı biçimde modellenmesine olanak verir; buna karşılık ara adımlarda yapılan kabullerin (özellikle akış katsayısı seçimi ve tabaka derinliği hesabının) sonuca taşınmasına yol açar.

İkinci yaklaşım **kapalı form analitik bağıntılardır**. NFPA 92, aynı balkon taşma senaryosunu (balcony spill plume), taşma yüksekliği ve etkin genişliğe göre seçilen tek bir bağıntıyla ifade eder. Ara adımlar bağıntının içinde örtük kalır; hesap tek aşamalıdır ve ara kabullere duyarlılık ortadan kalkar. Bunun bedeli, bağıntının geçerli olduğu geometrik aralığın (taşma yüksekliği, etkin genişlik) daha katı biçimde sınırlanmasıdır.

Üçüncü yaklaşım **ampiriktir**. Rus düzenlemesinde koridor ve kamusal mahal duman kontrol debileri, kapı genişliği ve yüksekliğine ya da mahal alanına dayalı, doğrudan kg/saat cinsinden sonuç veren bağıntılarla hesaplanır. Bu bağıntılar hızlı ve tekrarlanabilir sonuç üretir; ancak modelin içinde bir doğrulama mekanizması yoktur ve Duman Altı Hava Emilimi, duman tabakasının delinmesi gibi tahliye noktası kontrolleri tanımlı değildir.

Yöntem seçimini belirleyen ikinci ve önemli etken, projenin tabi olduğu yasal düzenleme veya standarttır. Amerika Birleşik Devletleri'nde IBC §909, NFPA 101, NFPA 5000 hesabın NFPA 92'ye göre (veya ilgili gereken durumlarda NFPA 204 kullanılır) yapılmasını öngörür. Birleşik Krallık'ta Approved Document B kapsamındaki performans tabanlı tasarımlarda BS 9999 ve BS 7346-4 / BRE 368 zinciri yerleşiktir. Avrupa Birliği'nde EN 12101 serisi ürün standartları hesap yöntemi dayatmaz; hesap CEN/TR 12101-5 veya ulusal ekler üzerinden yürütülür. Rusya'da 123-FZ Teknik Reglament ve SP 7.13130 zorunlu, hesap yöntemi ise El Kitabı 4.91 ve MP ile tanımlıdır. Türkiye'de Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) MADDE 20(5) ile atriumlarda doğal veya mekanik duman kontrolünü, MADDE 60(2) Toplam alanı 2000 m2'yi aşan kapalı otoparklar için mekanik duman tahliye sistemi yapılmasını, MADDE 88(3) Toplam alanı 2000 m^2'yi aşan kazan dairelerinde, kapalı otopark alanlarında ve bodrum katlardaki depolarda mekanik duman tahliye sistemi yapılmasını, duman tahliye sisteminin, binanın diğer bölümlerine hizmet veren sistemlerden bağımsız olması ve saatte en az 10 defa hava değişimi sağlamasını, MADDE 89(5) ile basınçlandırılan merdiven yuvasında kapılar kapalıyken en az 50 Pa (açık kapı durumunda en az 15 Pa) basınç farkını istemekte; hesap yöntemi olarak uygulamada NFPA 92 ve EN 12101 serisi referans alınmaktadır. Bu bildirinin sunumu aşamasında BYKHY 2021 geçerli olmakla birlikte 2026 yılında yeni yönetmelik taslağının onayı beklenmekte olup ilgili maddeler değişime uğrayabilir.

Bu çalışmanın amacı, üç yaklaşımı temsil eden (yirmi yedi ayrı menüden seçilen) on üç hesap yöntemini ortak bir çerçevede incelemek; her yöntemin geçerlilik alanını ve geçersizlik koşullarını açık biçimde ortaya

koymak; ve zincirleme çözüm yöntemi, kapalı ile ampirik yöntemlerin aynı senaryoda gösterdiği yöntemsel farkları ortaya çıkarmak için geliştirilmiş yazılımın işlevlerini bu detaylarda irdeleyerek bilgi sunmaktır. Bölüm 4.2'de yöntem çerçevesi ve doğrulama yaklaşımı, Bölüm 4.3'te kapsanan standartlar ve ülke düzenlemeleri tanıtılmakta; Bölüm 4.4'te hesap yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmekte; Bölüm 4.5 ve 6'da ortak ısıl bağıntılar ile karşılaştırmalı değerlendirme sunulmaktadır.

4.2 YÖNTEM

4.2.1 Kapsam ve Belgeleme Düzeni

Çalışmada ele alınan her hesap yöntemi için aynı belgeleme düzeni uygulanmıştır:

1. **Amaç ve kullanım alanı:** yöntemin modellediği fiziksel durum ve tipik yapı senaryoları.
2. **Geçerlilik sınırları:** bağıntının geçersizleştiği geometrik ve termodinamik koşullar; bu koşullarda hangi yönteme geçilmesi gerektiği.
3. **Bağıntılar:** her denklemin kaynak standarttaki madde veya denklem numarası ile birlikte, tüm değişken tanımları ve birimleri.
4. **Girdi ve çıktılar:** değişken kümesi ve standartta tanımlı varsayılan değerler.

İkinci başlığın ayrı ve zorunlu bir bölüm olarak ele alınması, çalışmanın yöntemsel tercihidir. Literatürde hesap bağıntıları yaygın biçimde aktarılırken, geçerlilik sınırları çoğu zaman standardın metnine gömülü kalmakta ve uygulamada gözden kaçmaktadır. Oysa bu sınırların aşıldığı durumların ayırt edici özelliği, hesabın hata vermemesi; sayısal olarak sonuç üretmeye devam ederken fiziksel dayanağını yitirmesidir.

4.2.2 İncelenen Yöntem Kümesi

Yöntem kümesi, üç yaklaşımın karşılaştırılabilmesini sağlayacak biçimde seçilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İncelenen hesap yöntemleri ve yöntemsel yaklaşımları

Yaklaşım	Kaynak	İncelenen yöntemler
Kapalı form analitik bağıntılar	NFPA 92 (2024)	Balkon taşma duman yayılımı + Duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi kontrolü
Birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yaklaşımı	CEN/TR 12101-5, BRE 368	Koridor duman yayılımı (yan mahal); balkon taşma duman yayılımı; Ek C.1, Ek D.1, Ek E.1, Ek F.4/F.5 adımları
Ampirik	SP 7.13130, El Kitabı 4.91, MP	Koridor duman kontrolü; kamusal alan duman kontrolü, otopark duman kontrolü; atrium duman
Senaryo temelli	EN 12101-13:2022	Ek A hesap zinciri; merdiven + asansör, koridora tahliye düzeni

4.2.3 Doğrulama

Yöntemler, kaynak dokümanlarda yayımlanmış çözümlü örneklere karşı doğrulanmıştır. CEN zinciri CEN/TR 12101-5:2005 Ek B–F metniyle; NFPA yöntemleri NFPA 92 (2024) denklem setiyle; EN 12101-13 zinciri standardın Ek A ve Ek B'deki çözümlü örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Doğrulanan yöntemler daha sonra, Bölüm 4.6.2'deki karşılaştırmalı senaryoların çözümünde kullanılmıştır.

4.3 KAPSANAN STANDARTLAR VE ÜLKE DÜZENLEMELERİ

Tablo 2. Ülke düzenlemeleri ve kabul edilen hesap yöntemleri

Not: Duman rezervuarı alan sınırları BS 7346-4:2003 ve CEN/TR 12101-5:2005 §6.6.2.7–6.6.2.9'da verilmiştir: yangın doğrudan rezervuarın altında ise 2000 m² (doğal) / 2600 m² (mekanik); yangın komşu bir odada veya kapalı asma kat altında ise (tek/çok katlı AVM ve atriumlar) yangın odası ve rezervuar için 1000 m² (doğal) / 1300 m² (mekanik); rezervuar uzunluğu en fazla 60 m olup 1000/1300 m² değerleri de BS 7346-4 / CEN/TR 12101-5 kaynaklıdır. BS 9999:2017 §4.6.2.2 NOTE, karşılık gelen sınırları 2000 m² ve 2600 m² olarak vermektedir.

Ülke / Bölge	**Bağlayıcı düzenleme**	**Hesap yöntemi kaynağı**	**Tipik gereklilikler**
ABD	IBC §909, NFPA 101	NFPA 92	Atrium duman kontrolü; egzoz yöntemi; menfez başına V_max ve S_min kontrolü (§5.6)
Birleşik Krallık	Building Regulations – Approved Document B	BS 9999:2017, BS 7346-4, BRE 368	SHEVS tasarımı; duman zonu alan sınırları 2000 m² / 2600 m² (BS 9999:2017 §4.6.2.2 NOTE); BS 7346-4:2003 §6.6.2.7; yangın komşu odada/asma kat altında ise §6.6.2.8: 1000/1300 m², temiz yükseklik ve tabaka sıcaklığı ölçütleri
Avrupa Birliği	Ulusal yangın yönetmelikleri + CPR (305/2011)	EN 12101 serisi, CEN/TR 12101-5	Ürünler için harmonize belgelendirme; hesap Ek C→D→E→F zinciri veya ulusal ekler
Rusya	123-FZ Teknik Reglament, SP 7.13130.2013	SP 7.13130, El Kitabı 4.91, MP	Koridor, mahal ve otopark için zorunlu tahliye debileri; kg/saat esaslı boyutlandırma
Türkiye	BYKHY	Uygulamada NFPA 92 / EN 12101	Atriumlarda duman kontrolü (MADDE 20(5)); basınçlandırmada kapılar kapalı ≥50 Pa, açık kapı ≥15 Pa (MADDE 89(5)); kapı açma kuvveti ≤110 N (Bu gereklilik hesaplarda kullanımı gerekli olan EN12101-13:2022 standardında değişiklik içermektedir)

4.3.1 Ulusal Uyarlamalar ve Kılavuz Belgeler

Yukarıdaki beş ana çerçevenin yanında, tasarım pratiğini belirleyen üç grup belge daha bulunmaktadır.

Almanya — DIN 18232 serisi ve VDI 6019. Almanya, CEN/TR 12101-5'i ulusal tasarım standardı olarak benimsememiştir. DIN 18232-2:2007-11 (doğal duman ve ısı tahliye sistemlerinin boyutlandırılması) yürürlükte kalmış; gerekçe olarak Avrupa ülkeleri arasındaki koruma hedefi farklılıkları ve Almanya'daki güvenlik düzeyinin korunması gösterilmiştir. CEN/TR 12101-5 yalnızca bilgilendirici bir Teknik Rapor olduğundan DIN 18232-2'yi ilga etmez. Mekanik tahliye için DIN 18232-5:2012-11, koruma yüksekliği H ≥ 3 m olan büyük hacimler için tablo ve hesap yöntemleri verir. VDI 6019 Blatt 1:2006-05 özel kullanımlı yapılarda karakteristik yangın eğrilerini tanımlar; VDI 6019 Blatt 2:2009-07 ise boyutlandırma için bölge modelleri, HAD (CFD) ve basit geometriler için analitik bir hesap yöntemi sunar. Her iki VDI belgesi de kapsamı dışında bıraktığını açıkça belirtir: basınçlandırma ve yıkama (flushing) sistemleri bu kılavuzların konusu değildir.

Singapur — SCDF Fire Code 2023, Bölüm 7. Duman kontrolü gereklilikleri Clause 7.4'te sayılmıştır: atrium mahalleri için Cl.3.2.1, Cl.3.2.4a ve Cl.3.2.4b bölmeleme gerekliliklerinin Cl.3.2.6 uyarınca esnetildiği durumlar; herhangi bir bina bölmesinin toplam taban alanının 5000 m²'yi aşması; ve tüm bodrum katların toplam taban alanının 2000 m²'yi aşması. Tasarım ölçütü olarak duman tabakasının döşemeden 1,8 m'nin altına inmemesi istenir. Bölüm 7'nin diğer maddeleri kaçış merdivenlerinin basınçlandırılması (7.2) ve otellerde iç koridor basınçlandırması (7.3) gerekliliklerini tanımlar. Hesap yöntemi olarak BR 186, BR 258 ve BR 368 kılavuzlarına atıf yapılır; yani Singapur, İngiliz SHEVS metodolojisini ulusal koda referans olarak almıştır.

Birleşik Krallık — CIBSE Guide E ve BRE serisi. CIBSE Guide E: Fire Safety Engineering (4. baskı, 2019; 2010 baskısının yerini almıştır) Bölüm 10'da duman havalandırmasını yaşanabilirlik ölçütleri ve sistem/bileşen tasarımı başlıkları altında ele alır. Guide E, sıçrama sütunu bağıntılarının derlendiği başlıca kılavuzlardan biri olup, Harrison ve Spearpoint'in karşılaştırmalı çalışmalarında NFPA 92B ve BRE veri kümeleriyle birlikte değerlendirilen üçüncü kaynaktır. Hesap metodolojisinin kökeni ise BRE serisidir: BR 186 (kapalı alışveriş merkezlerinde duman havalandırması tasarım ilkeleri, 1990), BR 258 ve BR 368 (SHEVS tasarım metodolojileri, 1999).

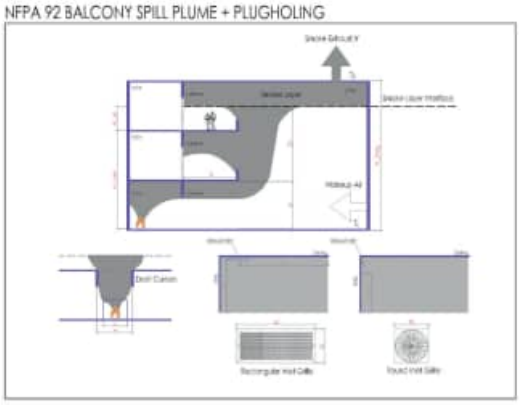
Bu üç grup belge, bildirinin savını doğrudan desteklemektedir. Almanya'nın Avrupa Teknik Raporunu benimsemeyip kendi ulusal standardını sürdürmesi, Singapur'un İngiliz metodolojisini kendi koduna referans alması ve CIBSE Guide E'nin Amerikan ve İngiliz korelasyonlarını yan yana derlemesi; hesap yönteminin coğrafi olarak değil, metodolojik gelenek üzerinden yayıldığını göstermektedir.

4.4 HESAP YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Sıcaklık, yoğunluk ve hacimsel debi gibi türetilen ortak büyüklüklerin bağıntıları Bölüm 4.5'te bir kez verilmiştir.

4.4.1 Kapalı Form Analitik Bağıntılar Yaklaşımı: NFPA 92 Balkon Taşma Duman Yayılımı ve Duman Altı Hava Emilimi, Duman Tabakasının Delinmesi

Amaç. Yangının bir mahal içinde başlayıp dumanın açıklıktan çıkarak balkon veya çıkma altından atriuma döküldüğü geometriyi modeller; buna ek olarak atrium egzoz menfezlerinin NFPA 92 §5.6 Duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi kontrolünü uygular. Galerili atriumlarda hem tahliye debisinin hem de egzoz noktalarının sayı, boyut ve yerleşiminin belirlenmesinde kullanılır.



Resim 1. NFPA 92 Balkon Taşma Duman Yayılımı senaryosu

Geçerlilik sınırları. Taşma bağıntıları, dumanın balkon kenarında yatay bir dönme yaptığı geometriler içindir; serbest atrium yangınlarında eksenel simetrik yöntem kullanılmalıdır. Etkin genişlik W, açıklık genişliği ile açıklıktan balkon kenarına mesafenin birlikte belirlediği değerdir; doğrudan kapı genişliği alınması hatalı sonuç verir. Etkin genişlik üst sınırları ($W < 10$ m; $10 \le W \le 14$ m) yalnızca $z_b \ge 15$ m bağıntıları (Denk. 5.5.2.8/5.5.2.9) için tanımlıdır; $z_b < 15$ m için Denk. 5.5.2.1b metninde W üst sınırı verilmez, $W > 14$ m yüksek atrium düzenlerinde tanımlı bir rejim yoktur. Duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi tarafında, tabaka derinliğinin menfez eşdeğer çapına oranı $d/D_i > 2$ koşulu sağlanmalıdır; sağlanamıyorsa menfez geometrisi revize edilmelidir (§5.6.7). Duman altı hava emilimi, duman tabakasının delinmesi kontrol sıcaklığı, tabaka sıcaklığından farklı olarak $K_s = 0,5$ ile hesaplanır (§5.5.5.2); bu ayrımın gözden kaçırılması güvensiz tarafta sonuç verir.

Bağıntılar — duman üretimi. Taşma yüksekliği ve etkin genişliğe göre üç rejim tanımlıdır:

$$W = w + b$$

$$m = 0,36 \cdot (Q \cdot W^2)^{1/3} \cdot (z_b + 0,25 \cdot H) \quad (z_b < 15 \text{ m; Denk. 5.5.2.1b})$$

$$m = 0,59 \cdot Q_c^{1/3} \cdot W^{1/5} \cdot (z_b + 0,17 \cdot W^{7/15} \cdot H + 10,35 \cdot W^{7/15} - 15) \quad (z_b \ge 15 \text{ m}, W < 10 \text{ m; Denk. 5.5.2.8b})$$

$$m = 0,2 \cdot (Q_c \cdot W^2)^{1/3} \cdot (z_b + 0,51 \cdot H + 15,75) \quad (z_b \ge 15 \text{ m}, 10 \le W \le 14 \text{ m; Denk. 5.5.2.9b})$$

Burada:

- W — etkin duman yayılımı genişliği [m]
- w — açıklık genişliği [m]
- b — açıklıktan balkon kenarına mesafe [m]
- z_b — balkon üstü taşma yüksekliği [m]
- H — balkon yüksekliği [m]
- Q — toplam ısı açığa çıkma oranı [kW]
- Q_c — konvektif ısı açığa çıkma oranı [kW]. Birinci rejim bağıntısının toplam Q ile, diğer ikisinin konvektif Q_c ile tanımlı olduğuna dikkat edilmelidir
- bu ayrım uygulamada sık karşılaşılan bir hata kaynağıdır

Bağıntılar — Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi kontrolü.

d = H_bina − (H_kat + H_sf)
D_i = 2 · a_i · b_i / (a_i + b_i) (dikdörtgen menfez; Denk. 5.6.8)
γ = 1,0 (menfez duvardan ≥ 2·D_i uzakta)
γ = 0,5 (duvara < 2·D_i mesafede veya duvar üzerinde) (§5.6.4–5.6.6)
T_s,p = T_o + 0,5 · Q_c / (m · c_p) (§5.5.5.2)
V_max = 4,16 · γ · d^(5/2) · √((T_s,p − T_o) / T_0K) (Denk. 5.6.3b)
V_e = V / N ; v_i = V_e / (A_r · A_menfez)
S_min = 0,9 · √(V_e) (Denk. 5.6.9b)

Burada:

- d — menfez altındaki tabaka derinliği [m]
- D_i — menfez eşdeğer çapı [m]
- γ — konum katsayısı [-]
- V_max — tek menfezden Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi olmaksızın çekilebilecek en büyük hacimsel debi [m³/s]
- V_e — menfez başına debi [m³/s]
- N — menfez sayısı
- A_r — menfez serbest alan oranı [-]
- S_min — menfezler arası en küçük kenar mesafesi [m]. Tasarım, V_e ≤ V_max ve d/D_i > 2 koşullarını birlikte sağlamalıdır

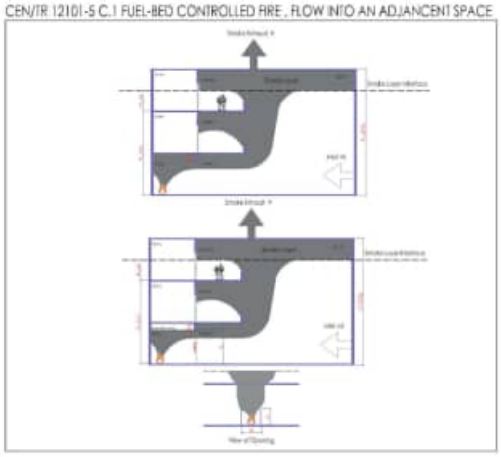
Girdi ve çıktılar. Girdiler: Q, X, açıklık ve balkon geometrisi, hacim yüksekliği, hedef temiz tabaka yüksekliği, menfez geometrisi ve sayısı, montaj konumu. Çıktılar: m, T_s, ρ, V ile d, D_i, γ, V_max, V_e, v_i, S_min ve uygunluk kontrolleri.

4.4.2 Birbirini Izleyen Hesap Adımlarından Oluşan Zincirleme Çözüm Yaklaşımı Adımları

Avrupa yönteminde duman üretimi, tek bir bağıntıyla değil, dört ayrı adımın zincirlenmesiyle elde edilir. Bu bölümde adımlar tek tek, izleyen bölümlerde ise koridorlu ve balkonlu düzenlerde nasıl birleştirildikleri ele alınmaktadır.

4.4.2.1 Birinci Adım — Açıklıktan Komşu Alana Taşan Kütle Debisi (Ek C.1)

Amaç. Yangın odasından bir açıklık üzerinden komşu hacme çıkan sıcak gazların kütle debisini verir. Zincirin başlangıç noktasıdır ve sonraki bütün adımların girdisini oluşturur.



Resim 2. Açıklıktan kütle debisi — CEN/TR 12101-5 Ek C.1 geometrisi

Geçerlilik sınırları. Bağıntı yalnızca yakıt kontrollü (flashover öncesi) yangınlar içindir. Açıklıktaki tabaka sıcaklık artışı Θ_w < 68 °C ise geçersizdir; bu durumda yangın mühendisliği yöntemlerine başvurulmalıdır. Tabaka sıcaklığının 550 °C'ye ulaşması hâlinde oda flashover'a gider ve tam gelişmiş oda yangınına dayalı tasarım özel gerekçe ister. Akış katsayısı C_d, düşey bariyer (downstand) derinliğine göre iteratif olarak seçilmelidir (0,65 → 0,8 → 1,0); sabit bir C_d kullanmak hatalı sonuç verir.

Bağıntı.

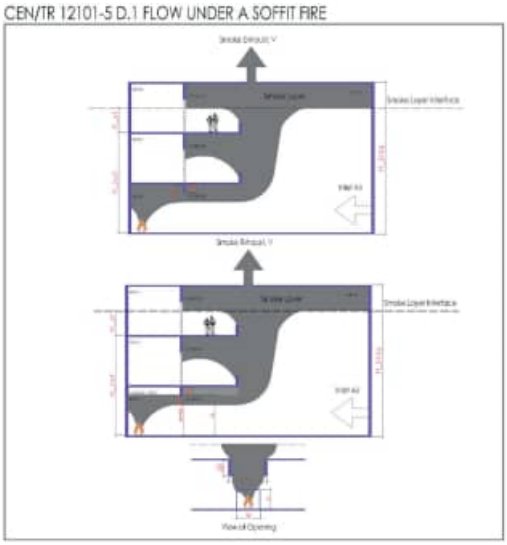
M_w = C_e·P·W·H^(3/2) / [W^(2/3) + (1/C_d)·(C_e·P/2)^(2/3)]^(3/2) (Denk. C.1)

Burada:

- M_w — açıklık kütle debisi [kg/s]
- P — yangın çevre uzunluğu [m]
- W — açıklık genişliği [m]
- H — açıklık yüksekliği [m]
- C_d — akış katsayısı [-]
- C_e — sürüklenme katsayısı (0,19) [-]

4.4.2.2 İkinci Adım — Balkon Altı Akış ve Tabaka Derinliği (Ek D.1)

Amaç. Açıklıktan çıkan dumanın duman bariyeri (downstand) balkon veya kanopi altında taşma kenarına doğru ilerleyen akışını ve akan tabaka derinliğini verir. Duman perdesi (screening channel) derinliğinin seçiminde belirleyicidir.



Resim 3. Balkon altı akış ve tabaka derinliği — Ek D.1 geometrisi

Geçerlilik sınırları. Duman perdesi (screening channel) derinliği en az (d_B + 0,1) m olmalıdır (Ek D.2); daha sığ bir perde ile yapılan genişlik kabulü geçersizdir. Duman bariyeri (downstand) yoksa M_b = M_w alınır; duman bariyeri (downstand) varken uygulanan iki katı kuralı bir mühendislik yaklaşımıdır (Ek D.1) ve fiziksel bir türetmeye değil, akışın iki yöne ayrılması gözlemine dayanır.

Bağıntılar.

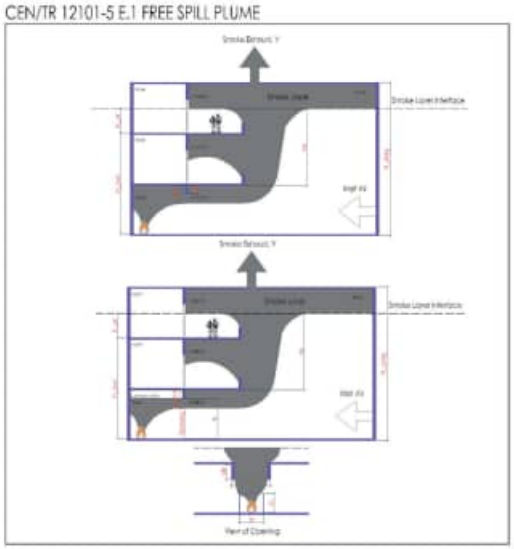
M_b = 2 · M_w (duman bariyeri (downstand) varsa) / M_b = M_w (yoksa) (Denk. D.1/D.2)
d = (0,36/C_d) · [(M_b · T) / (W_s · √Θ · √T_0)]^(2/3) (Denk. D.3)

Burada:

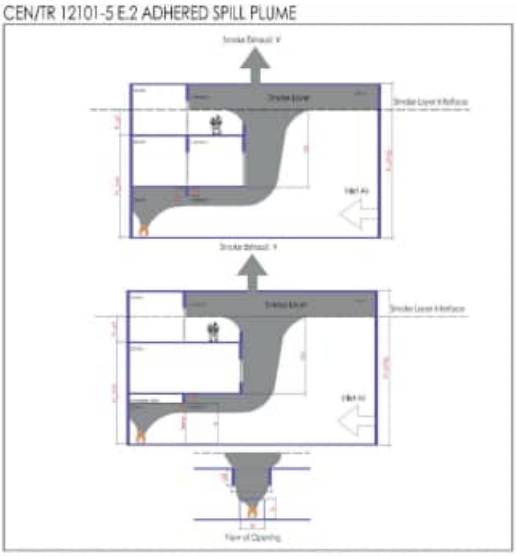
- M_b — balkon altı kütle debisi [kg/s]
- W_s — taşma/tabaka genişliği [m]
- d — akan tabaka derinliği [m]
- Θ — tabaka sıcaklık artışı [°C]
- C_d — kenarda duman bariyeri (downstand) yoksa 1,0, varsa 0,6

4.4.2.3 Üçüncü Adım — Serbest ve Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı (Ek E.1/E.2)

Amaç. Taşma kenarından rezervuara yükselen duman yayılımının kütle debisini verir. Serbest duman yayılımında duman iki kenardan, duvara yüzeye bitişik taşma duman yayılımında tek kenardan hava sürükler; bu fark sürüklenme katsayısına yansır.



Resim 4. Serbest Taşma Duman Yayılımı — Ek E.1 geometrisi



Resim 5. Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı — Ek E.2 geometrisi

Geçerlilik sınırları. Taşma yüksekliği arttıkça duman yayılımı eksenel simetrik davranışa yaklaşır; sınır durumda sonuç eksenel simetrik hesapla karşılaştırılmalıdır. Duvara bitişik durum (E.2) yalnızca düz ve kesintisiz düşey yüzeyler için geçerlidir; yüzeydeki kırılmalar ve girinti-duman bariyeri (downstand)lar tek taraflı sürüklenme kabulünü bozar.

Bağıntılar.

$C = 0{,}3 \cdot C_m \cdot \rho_0 \cdot W_s^{(2/3)}$
$M = C \cdot Q_w^{(1/3)} \cdot (H_r + d) + M_b$
$C_m = 0{,}44$ (serbest) / $C_m = 0{,}21$ (yüzeye bitişik)

Burada:

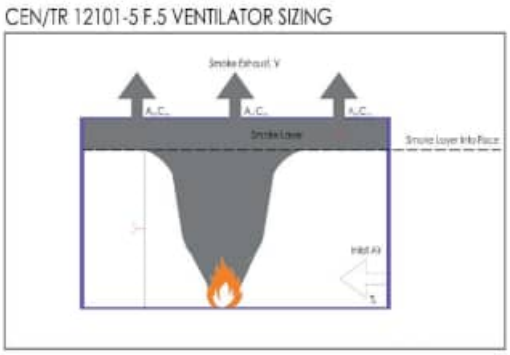
- M — taşma duman yayılımı kütle debisi [kg/s]
- H_r — taşma duman yayılımı Taşma yüksekliği [m]
- d — taşma kenarındaki tabaka derinliği [m] (önceki adımdan)
- M_b — taşma kenarına yaklaşım debisi [kg/s]

• Q_w — açıklıktaki konvektif ısı akısı [kW]. Serbest ve bitişik durum arasındaki C_m oranı yaklaşık ikidir

dolayısıyla aynı geometride yüzeye bitişik kabulü, tahliye debisini belirgin biçimde düşürür. Bu nedenle yapışıklık kabulünün geometrik olarak gerekçelendirilmesi gerekir

4.4.2.4 Dördüncü Adım — Vantilatör Boyutlandırma (Ek F.4/F.5)

Amaç. Tabaka sıcaklığında mekanik tahliye hacmini ve doğal havalandırma açıklık alanını verir; zincirin son halkasıdır.



Resim 6. Vantilatör boyutlandırma — Ek F.3 şeması

Geçerlilik sınırları. Bağıntılar rüzgâr etkisini ve farklı kot düzeltmelerini içermez. Doğal havalandırma çözümünde, tabaka derinliği ve sıcaklık artışının birlikte belirlediği kaldırma kuvveti esas alındığından, düşük tabaka sıcaklıklarında gerekli açıklık alanı hızla büyür.

Bağıntılar.

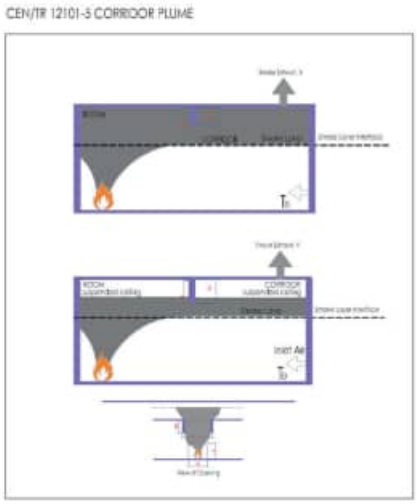
$V = M \cdot T_l / (\rho_0 \cdot T_0)$ (Denk. F.5)
$A_v \cdot C_v = M \cdot T_l / [\ \rho_0 \cdot \sqrt{(2g \cdot d \cdot \Theta \cdot T_0)}\ ]$ (Denk. F.7)

Burada:

- V — mekanik tahliye hacimsel debisi [m³⁄s]
- A_v — doğal havalandırma açıklık alanı [m²]
- C_v — vantilatör debi katsayısı [-] (varsayılan 0,6)
- d — tabaka derinliği [m]
- T_l — tabaka mutlak sıcaklığı [K]

4.4.3 Zincirin Uygulanması — Koridor Duman Yayılımı

Amaç. Yangın odasından koridora çıkan dumanın koridor boyunca ilerleyip atrium kenarında taşma duman yayılımına dönüştüğü senaryoyu modeller. Otel, AVM ve hastane koridorlarının atriuma açıldığı düzenlerde kullanılır.



Resim 7. Koridor Duman Yayılımı senaryosu

Geçerlilik sınırları. Bölüm 4.4.2.1'deki sıcaklık sınırları (Θ_w < 68 °C ve 550 °C flashover eşiği) aynen geçerlidir. Duman zonu alanı, tabakadaki soğumanın ihmal edilebilir kalması için sınırlandırılır; BS 9999:2017 §4.6.2.2 NOTE bu sınırları 2000 m² ve 2600 m² olarak verir. CEN/TR 12101-5 ve BS 7346-4 §6.6.2.8, yangının komşu odada olduğu bu düzende yangın odası ve rezervuar için 1000 m² (doğal) / 1300 m² (mekanik) sınırını; §6.6.2.7 ise yangın doğrudan rezervuar altında iken 2000/2600 m² sınırını verir. Rezervuar uzunluğu, duman tabakası altındaki kaçış mesafesini sınırlamak üzere 60 m ile sınırlıdır. Temiz yükseklik, CEN/TR 12101-5 Tablo 2 gereği kamusal binalarda (AVM, sergi salonu) en az 3,0 m, kamusal olmayan binalarda (ofis, konut) en az 2,5 m olmalıdır; tabaka sıcaklık artışı 50 °C'nin altında ise bu değerlere 0,5 m eklenir. Duman bariyeri (downstand) ve asma tavan geometrisine göre C_d seçim prosedürü izlenmeden sabit bir katsayı kullanmak, zincirin tamamına taşınan bir hata üretir.

Zincirin kurulumu. Adımlar sırasıyla uygulanır: Ek C.1 ile açıklık debisi M_w; Ek D.1/D.2 ile duman bariyeri (downstand) çarpanı ve M_spill; Ek D.3 ile taşma kenarındaki tabaka derinliği d_spill; Ek E ile rezervuara yükselen duman yayılımı debisi; Ek F ile tabaka sıcaklığı, hacimsel debi ve vantilatör alanı. Zincirin her adımı bir önceki adımın çıktısını girdi aldığından, ara adımların atlanması sonucu geçersiz kılar.

4.4.4 Zincirin Uygulanması — Balkon Taşma Duman Yayılımı

Amaç. Galerili atriumlarda dumanın balkon altından döküldüğü klasik senaryoyu, aynı Ek C → D → E zinciriyle çözer. Bölüm 4.4.1'deki NFPA yönteminin doğrudan karşılığıdır ve bu bildirideki temel karşılaştırma çiftini oluşturur.

Geçerlilik sınırları. Poreh ve Thomas bağıntıları farklı geçerlilik alanlarına sahiptir; rezervuar geometrisi ve taşma kenarı üstü Taşma yüksekliği bu seçimi belirler. Rezervuarın serbest uçlara sahip olduğu düzenlerde ek sürüklenme terimi hesaba katılmalıdır.

Bağıntılar.

$M = 0{,}3 \cdot C_m \cdot \rho_0 \cdot W^{(2/3)} \cdot Q_w^{(1/3)} \cdot (H_r + d) + M_B$ (Poreh 1998; Ek E)

$M = 1{,}2 \cdot M_B + 0{,}16 \cdot H_r \cdot W \cdot (Q_w/W)^{(1/3)} + 0{,}0027 \cdot Q_w$ (Thomas 1998; $H_r < 3$ m)

$M = 0{,}58 \cdot \rho \cdot [g \cdot Q_w \cdot W^2/(\rho \cdot c \cdot T_0)]^{(1/3)} \cdot (H_r + \Delta) \cdot [1 + 0{,}22 \cdot (H_r + 2\Delta)/W]^{(2/3)}$ (Thomas 1987)

$\Delta M = 0{,}09 \cdot H_r \cdot (Q_w/W)^{(1/3)}$ (serbest uçlar için ek)

Burada:

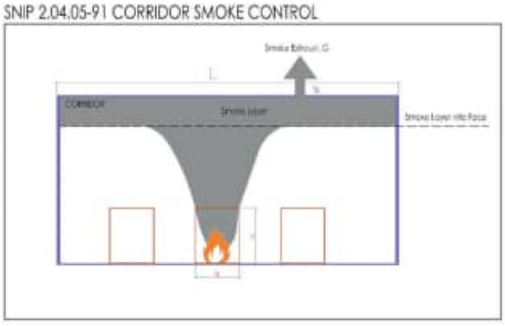
- Δ — eşdeğer köken düzeltmesi [m]
- diğer semboller Bölüm 4.4.2.3'teki gibidir

4.4.5 Ampirik Yaklaşım: Rus SNIP Hesap Yöntemleri

Rus düzenlemesi iki katmanlıdır. SP 7.13130 ve El Kitabı 4.91 koridor ve mahal tahliyesini kapı ve alan geometrisine dayalı ampirik bağıntılarla; Metodik Tavsiyeler (MP) ise atrium senaryolarını duman yayılımı bağıntılarıyla ele alır.

4.4.5.1 Koridor Duman Tahliyesi

Amaç. Konut ve kamusal binalarda koridordan mekanik duman tahliyesi için gerekli kütlesel debiyi, kapı genişliği ve yüksekliğine dayalı ampirik bağıntıyla verir.



Resim 8. Koridor Duman Tahliyesi — El Kitabı 4.91 şeması

Geçerlilik sınırları. Kapı yüksekliği bağıntı gereği 2,0–2,5 m aralığına kırpılır; bu aralığın dışındaki geometriler için bağıntı türetilmemiştir. Bağıntı koridor tahliyesi içindir; mahal içi tahliyesi için Denklem 21 kullanılmalıdır. n katsayısı, koridordaki toplam kapı genişliğine bağlı tablodan alınır ve ara değerlerde enterpolasyon gerektirir. Sonuç kg/saat cinsinden olduğundan, hacimsel debiye dönüşümde duman sıcaklığına uygun yoğunluk kullanılmalıdır.

Bağıntılar.

$G = 3420 \cdot B \cdot n \cdot H_d^{(3/2)}$ [kg/saat] (konut; Denk. 1)
$G = 4300 \cdot B \cdot n \cdot H_d^{(3/2)} \cdot K_d$ [kg/saat] (kamusal/endüstriyel; Denk. 2)

Burada:

- G — gerekli duman tahliye debisi [kg/saat]
- B — koridordaki kapıların toplam genişliği [m]
- n — B'ye bağlı katsayı [-]
- H_d — kapı yüksekliği (2,0–2,5 m) [m]
- K_d — tahliye çarpanı [-]

4.4.5.2 Kamusal Mahal Duman Tahliyesi

Amaç. Fuaye ve satış alanı gibi toplanma mahalleri için tahliye debisini, yangın çevresi ve duman tabakası kotu üzerinden verir.

Geçerlilik sınırları. Yangın çevresi $P_p = 4 \cdot \sqrt{A_p}$ bağıntısı 4–12 m aralığında geçerlidir. Atrium gibi yüksek hacimlerde Denklem 21 yerine MP duman yayılımı yöntemleri kullanılmalıdır; bağıntı, tabaka kotunun mahal yüksekliğine göre düşük kaldığı durumlar için türetilmiştir.

Bağıntılar.

$P_p = 4 \cdot \sqrt{A_p}$ (4–12 m aralığı)
$G = 676{,}8 \cdot P_p \cdot Y^{(3/2)} \cdot K_{es}$ [kg/saat] (Denk. 21)

Burada:

- A_p — yangın alanı [m²]
- Y — duman tabakası kotu [m]
- K_es — doğal havalandırma ve sprinkler çarpanı [-] (varsayılan 1,2)

4.4.5.3 Kompakt Atrium Duman Yayılımı

Amaç. Yapısal olarak yalıtılmış atrium ve kapalı otopark gibi hacimlerde, basitleştirilmiş duman yayılımı bağıntısıyla kütle debisini verir.

Geçerlilik sınırları. Denklem (8) bir alev bölgesi bağıntısıdır ve NFPA 92 Denk. 5.5.1.1f ile aynı formdadır; Taşma yüksekliğinin büyük olduğu durumlarda Denklem (7) daha doğru sonuç verir. Taşma geometrilerinde kullanılamaz.

Bağıntılar.

Q_c = r · Q_f ; z = H − h
G_k = 0,032 · Q_c^(3/5) · z (Denk. 8)

Burada:

- G_k — duman kütle debisi [kg/s]
- r — konvektif oran [-] (0,70)
- H — yangından tavana yükseklik [m]
- h — duman tabakası kalınlığı [m]

4.4.5.4 Yangına Komşu Koridor Tahliyesi

Amaç. Yangın odasına komşu koridorun ısıl dengesini kurarak, koridordan tahliye edilmesi gereken debiyi verir. Diğer ampirik yöntemlerden farklı olarak, oda-koridor ısı alışverişini açık biçimde modeller.

Geçerlilik sınırları. Yöntemde Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolü tanımlı değildir; menfez yerleşimi bu yolla doğrulanamaz. Debiler kg/saat esaslıdır ve hacimsel dönüşümde ρ = 353/T yaklaşımı kullanılır. Sınır duman tabakası kalınlığı, koridor yüksekliğinin yaklaşık yarısı mertebesinde seçilmelidir.

Bağıntılar.

b = 2 · h_sm + A_c / l_c
T_sm = T_r + [1,22 · (T_0 − T_r) · b / l_c] · [1 − exp(−0,58 · l_c / b)] (Denk. 16)
G_sm = k_sm · A_d · √H_d (Denk. 17)
ρ_s = 353 / T_sm ; V = G_sm / ρ_s

Burada:

- h_sm — sınır duman tabakası kalınlığı [m]
- A_c — ve l_c koridor taban alanı [m²] ve uzunluğu [m]
- T_sm — koridor tabakası ortalama sıcaklığı [K]
- T_r — başlangıç ortam sıcaklığı [K]
- k_sm — bina katsayısı (konut 1,0; kamusal 1,2) [kg/(s·m^2,5)]
- A_d — ve H_d tahliye kapısı alanı [m²] ve yüksekliği [m]. Bu yöntem, çalışmanın sayısal doğrulama örneği olarak kullanılmıştır (Bölüm 4.4.2.3)

4.4.6 Senaryo Temelli Yaklaşım: EN 12101-13 Basınç Farkı Sistemleri

4.4.6.1 Ortak Ek A Hesap Zinciri

Amaç. EN 12101-13:2022, madde 5.6.3 kapsamında dokuz yerleşim düzeni tanımlar. Düzenlerin tamamı aynı Ek A hesap zincirini çalıştırır: Tablo A.2–A.5'ten sızıntı alanlarının belirlenmesi; kapılar kapalı besleme debisi Q_TDC; kapı açık besleme debisi Q_TDO; yönetici debi Q_Sx; fan tasarım debisi Q_DESIGN; tahliye menfez ve şaft alanları; basınç boşaltma alanı A_PV; kapı açma kuvveti kontrolü.

Geçerlilik sınırları. Ek A bilgilendiricidir; Tablo 1'deki işlevsel hedefler sağlandığı sürece yetkili merci onayıyla başka prosedürler kullanılabilir. Tablo A.2–A.5'teki sızıntı alanları işçilik bağımlıdır; sonucu belirleyici hâle geldiklerinde ölçülmeleri veya üreticiden alınmaları gerekir. Kapı açma kuvveti 100 N sınırını aşmamalı, ΔP_100N tasarım basıncının altında kalmamalıdır. Tablo 1'deki başlatma ve işletme süreleri bu hesabın konusu değildir.

Bağıntılar.

$Q = 0{,}83 \cdot A \cdot \Delta P^{(1/R)}$ ($R = 2$ kapı/büyük açıklık; $R = 1{,}6$ çatlak) (Denk. A.3)
$A_{ep} = \Sigma A_i$ (paralel açıklıklar)
$A_{es} = A_1 \cdot A_2 / \sqrt{(A_1^2 + A_2^2)}$ (seri açıklıklar)
$Q_{VA} = Q_{DO}$ [+ Q_{LD}/n] [+ Q_{LOB}] ← düzen bağımlı (Denk. A.17)
$A_{VA} = Q_{VA} / v_{VENT}$; $A_{VS} = Q_{VA} / v_{SHAFT}$
$P_{US} = \Sigma (Q_{VA} / (0{,}83 \cdot A))^2$
$P_{SC} = P_{US} + (Q_{DO} / (0{,}83 \cdot A_{kapı}))^2$ (Denk. A.22)
$Q_{TDO} = 0{,}83 \cdot (A_W + A_{LW} + A_{LF}) \cdot P_{SC}^{(1/1{,}6)}$
$+ 0{,}83 \cdot (A_D + A_{DCOT}) \cdot P_{SC}^{0{,}5} + Q_{DO}$
$Q_{Sx} = \max(Q_{TDC}, Q_{TDO})$; $Q_{DESIGN} = 1{,}15 \cdot Q_{Sx}$ (Denk. A.24/A.25)
$F_{dc} = M / (W - a)$
$\Delta P_{100N} = 2 \cdot (100 - F_{dc}) \cdot (W - a) / (W^2 \cdot H)$ (Denk. A.27)
$A_{PV} = (Q_{Sx} - Q_{SDC}) / (0{,}83 \cdot P_{PV}^{0{,}5})$ (Denk. A.28)

Burada:

- Q_{DO} — açık kapıdan sınıf hızını sağlayan debi [m³/s] (Sınıf 1 için ≥ 1 m/s, Sınıf 2 için ≥ 2 m/s)
- Q_{VA} — tahliyenin alması gereken debi [m³/s]
- v_{VENT} — menfez hızı (2,5–4 m/s)
- v_{SHAFT} — şaft hızı (2–3 m/s)
- P_{US} — korumasız hacim basıncı [Pa]
- P_{SC} — merdivende kapı açık basıncı [Pa]
- Q_{Sx} — yönetici besleme debisi [m³/s]
- Q_{DESIGN} — kanal payı dâhil fan debisi [m³/s]
- F_{dc} — kapı kapatıcı kuvveti [N]
- M — kapatıcı torku [N·m]
- A_{PV} — basınç boşaltma açıklığı alanı [m²]

Yöntemin ayırt edici yanı, kapılar kapalı ve kapı açık durumlarının ayrı ayrı çözülüp büyük olanın tasarıma esas alınmasıdır. Sabit bir basınç hedefi üzerinden yürüyen yaklaşımlardan bu yönüyle ayrılır.

4.4.6.2 Düzen Uygulaması — Merdiven ve Asansör, Koridora Tahliye

Amaç. EN 12101-13:2022 madde 5.6.3.5 ve Şekil 8'de tanımlı düzendir. Korunan hacimler merdiven ve asansör kuyusudur; tahliye koridora yapılır. Akış yolu merdiven ve kuyudan lobiye, oradan kapı veya hava

aktarım düzeneği (ATD) üzerinden koridora ve tahliye noktasına uzanır. Lobi ile koridorun birlikte bulunduğu yangın şaftlarında, tahliyenin yalnızca koridora konabildiği durumlarda kullanılır.

Geçerlilik sınırları. Asansör kuyusu tepeden ayrı havalandırılıyorsa lobiye Q_LD/n payı gelmez ve düzen değişir. Koridorun birleşik debiyi Ek A.5.2 hız sınırları içinde taşıyamadığı geometrilerde bu düzen uygulanamaz. Lobi–koridor arasındaki hava aktarım düzeneği küçük seçilirse merdiven basıncı kapı açma kuvveti sınırını aşabilir. Kat kapısı sızıntısı, genellikle kapalı kapı sızıntısına hâkim olan bileşendir; ihmal edilmesi Q_TDC'yi belirgin biçimde düşük gösterir.

Düzene özgü bağıntı.

Q_VA = Q_DO + Q_LD/n (iki açıklık seri) (5.6.3.5; Denk. A.17)

Burada:

• Q_LD/n — yangın katındaki asansör kuyusu payıdır [m³/s]. İki açıklığın seri olması hâlinde P_SC, her açıklık için Denklem (A.22) üst üste kurularak elde edilir. Zincirin kalan adımları Bölüm 4.4.6.1'deki gibidir

düzenler yalnızca bu tek denklemde ayrışır

4.5 ORTAK TERMODİNAMİK BAĞINTILAR

Kütle debisi hesaplandıktan sonra tabaka sıcaklığı, yoğunluk ve hacimsel debi tüm yöntemlerde ortak bağıntılarla türetilir:

$\Theta = Q_c / (M \cdot c)$
$T = T_0 + \Theta$
$\rho = \rho_0 \cdot (T_0 / T)$ [= 353/T = P_atm/(R·T)]
$V = M / \rho$

Burada:

• Θ — tabaka sıcaklık artışı [K]

• Q_c — tabakaya giren konvektif ısı [kW]

• M — kütle debisi [kg/s]

• c — özgül ısı (1,005–1,05) [kJ/kg·K]

• T_0 — ortam mutlak sıcaklığı [K]

• ρ_0 — ortam yoğunluğu (1,2) [kg/m³]

• V — hacimsel debi [m³/s]

Yoğunluk ifadesinin üç ayrı biçimi, NFPA (ideal gaz, ρ = P_atm/(R·T)), CEN (ρ = ρ_0·T_0/T) ve Rus (ρ = 353/T) kaynaklarında kullanılan gösterimlerdir; üçü de aynı fiziksel ilkenin eşdeğer ifadeleridir ve pratik sıcaklık aralığında ihmal edilebilir farklar üretir. Buna karşılık konvektif pay kabulü doğrudan tabaka sıcaklığına ve dolayısıyla hacimsel debiye yansır: NFPA yöntemlerinde varsayılan 0,70 iken, CEN/TR 12101-5'te 0,80·Q payı, yangın doğrudan rezervuar altındayken rezervuara giren konvektif ısı (Q_f) için tanımlıdır (6.2.2 d); yangın odası açıklığındaki konvektif ısı akısı Q_w ise Tablo 3 varsayılanlarından (örn. sprinklerli mağaza 5 MW) ya da sprinklersiz mahallerde 0,5·Q, sprinklerli mahallerde 0,25·Q olarak alınır (6.3.2.2–6.3.2.4). Bu bildirideki senaryolarda Q_w = 0,8·Q kabul edilmiştir

4.6 KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

4.6.1 Yöntemsel Karşılaştırma

Tablo 3. Üç yaklaşımın yöntemsel karşılaştırması

Ölçüt	**Birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm (CEN/BRE)**	**Kapalı form analitik bağıntılar (NFPA 92)**	**Ampirik (SP 7.13130 / MP)**
Hesap yapısı	Dört ardışık adım (Ek C→D→E→F)	Rejime göre seçilen tek bağıntı	Doğrudan geometriye bağlı tek bağıntı
Ara kabullere duyarlılık	Yüksek (C_d, tabaka derinliği, duman bariyeri (downstand) çarpanı)	Düşük (ara adımlar örtük)	Düşük (ara adım yok)
Geometrik ayrıntı	Yüksek; açıklık, balkon ve rezervuar ayrı modellenir	Orta; etkin genişlik W tek parametreye indirger	Düşük; kapı genişliği veya mahal alanı
Geçerlilik sınırı türü	Termodinamik (68 °C / 550 °C) ve boyutsal (duman zonu 2000/2600 m²; rezervuar 60 m) komşu oda yangınında 1000/1300 m²	Geometrik rejim (z_b; z_b ≥ 15 m için W ≤ 14 m)	Girdi aralığı (H_d = 2,0–2,5 m; P_p = 4–12 m)
Doğrulama kontrolü	Ek F kritik debi (M_krit)	§5.6 Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi (V_max, S_min, d/D_i)	Tanımlı değil
Debi birimi	kg/s → m³/s	m³/s	ağırlıklı olarak kg/saat
Konvektif pay	0,80·Q	0,70·Q (varsayılan)	0,70·Q_f

4.6.2 Sayısal Karşılaştırma

Bildiride yöntemsel farkların tasarım büyüklüklerine nasıl yansıdığını göstermek üzere, üç senaryo aynı ortam koşullarında (T_0 = 293,15 K; ρ_0 = 1,2 kg/m³; c = 1,005 kJ/kg·K) çözülmüştür.

4.6.2.1 Birinci Senaryo — Balkon Taşma: Kapalı Form Analitik Bağıntılar ve Zincir Çözüm

Galerili bir alışveriş merkezinde, sprinkler korumalı bir mağazada başlayan yangının dumanının balkon altından atriuma döküldüğü düzen ele alınmıştır. Tasarım verileri: Q = 2500 kW; X = 0,70; açıklık 5,0 × 3,0 m; açıklıktan balkon kenarına mesafe b = 3,0 m; balkon yüksekliği H = 4,0 m; balkon üstü yükselme z_b = 12,0 m; yangın çevresi P = 12,0 m; taşma genişliği W_s = 5,0 m.

NFPA 92 tarafında z_b < 15 m olduğundan Denklem (5.5.2.1b) geçerlidir ve etkin genişlik W = w + b = 8,0 m alınır. CEN tarafında Ek C.1 → D.1/D.3 → E.1 zinciri, serbest taşma duman yayılımı (C_m = 0,44) kabulüyle çözülmüştür.

NOT: Senaryoda Q_w = 0,8·Q = 2000 kW kabul edilmiştir; CEN/TR 12101-5 6.3.2.4 sprinklerli mahaller için açıklıkta 0,25·Q (625 kW) veya Tablo 3 varsayılanını öngörür

Tablo 4. Birinci senaryonun iki yöntemle çözümü

Büyüklük	**NFPA 92 (kapalı form analitik bağıntılar)**	**CEN/TR 12101-5 (zincir)**
Açıklık kütle debisi M_w	— (bağıntıda örtük)	7,36 kg/s
Taşma kenarı yaklaşım debisi M_b	—	7,36 kg/s
Taşma kenarı tabaka derinliği d	—	0,74 m
Taşma duman yayılım kütle debisi	254,1 kg/s	81,7 kg/s
Tabaka sıcaklık artışı Θ	6,9 K	24,4 K
Tabaka sıcaklığı T	300,0 K	317,5 K
Hacimsel tahliye debisi V	216,7 m³/s	73,7 m³/s

İki yöntem arasındaki tahliye debisi oranı yaklaşık 2,9'dur. Fark, bağıntı katsayılarından değil taşma duman yayılım modelinden kaynaklanmaktadır: NFPA bağıntısı etkin genişliğe W² ile bağlıyken, Poreh bağıntısı

W_s^(2/3) ile bağlıdır ve Taşma yüksekliğiyle doğrusal artar. Bu ayrışmanın kaynağı, iki bağıntının farklı deneysel veri kümelerine dayanmasıdır.

Bu ayrışma literatürde bilinmekte ve üzerinde çalışılmaktadır. Harrison ve Spearpoint [10], NFPA 92B (o tarihlerde NFPA 92B idi) bağıntılarını CIBSE Guide E, Law ve BRE veri kümeleriyle birlikte değerlendirerek taşma duman yayılımı sürüklenmesini karakterize etmiş; izleyen çalışmalarında [11] hesaplı akışkanlar dinamiği ile fiziksel ölçek modellemesini birlikte kullanarak, mevcut tasarım kılavuzlarının açıklıktan balkona uzanan akıştaki hava sürüklenmesi konusunda muhafazakâr kaldığını göstermiştir. Aynı yazarların kanal perdeli (screening channel) ve perdesiz taşma sütunlarını karşılaştıran çalışması, Bölüm 4.4.2.2'de ele alınan duman perdesi (screening channel) kabulünün fiziksel karşılığını deneysel olarak incelemektedir. Bu araştırmalar sonucunda NFPA 92'nin §5.5.2'deki taşma duman yayılımı bağıntılarının revizyonu gündeme gelmiş; önerilen yeni korelasyonların mevcut bağıntılara göre daha geniş bir senaryo aralığını kapsaması beklenmektedir. Dolayısıyla bu bildiride elde edilen 2,9 katlık oran, bağıntılardan birinin hatalı olduğunu değil, iki korelasyonun farklı deneysel dayanaklara ve farklı geçerlilik alanlarına sahip olduğunu göstermektedir.

Sonucun ikinci bir okuması, yöntemlerin kendi iç tutarlılık denetimleriyle ilgilidir. NFPA çözümünde tabaka sıcaklık artışının 6,9 K'e inmesi, standardın kendi geçerlilik eşiğine (2,2 °C, §5.5.1.2) yaklaşıldığını göstermektedir. Taşma yüksekliğinin daha da artırıldığı düzenlerde bağıntı, sayısal olarak sonuç üretmeye devam ederken bu eşiğin altına düşebilmektedir. Dolayısıyla büyük z_b değerlerinde tahliye debisinin makul olup olmadığı, tabaka sıcaklığı üzerinden ayrıca denetlenmelidir.

4.6.2.2 Zincirin Ara Kabullere Duyarlılığı

Aynı senaryo, yalnızca zincirin ara kabulleri değiştirilerek yeniden çözülmüştür (Tablo 5). Değiştirilen iki kabul, Ek C.1'deki akış katsayısı C_d ve Ek D.1'deki duman bariyeri (downstand) varlığıdır; geometri ve tasarım yangını sabit tutulmuştur.

Tablo 5. CEN zincirinin ara kabullere duyarlılığı (Q = 2500 kW)

Kabul	M_w [kg/s]	M_b [kg/s]	Θ [K]	d [m]	M [kg/s]
C_d = 0,65 / duman bariyeri (downstand) yok	6,00	6,00	331,8	0,65	79,8
C_d = 0,80 / duman bariyeri (downstand) yok	6,67	6,67	298,3	0,69	80,7
C_d = 1,00 / duman bariyeri (downstand) yok	7,36	7,36	270,3	0,74	81,7
C_d = 0,65 / duman bariyeri (downstand) var	6,00	12,00	165,9	1,75	92,3
C_d = 1,00 / duman bariyeri (downstand) var	7,36	14,72	135,2	2,05	96,7

Sonuçlar iki noktayı ortaya koymaktadır. Birincisi, akış katsayısının tek başına etkisi sınırlıdır: C_d'nin 0,65'ten 1,00'e çıkarılması açıklık debisini %23 artırırken, yayılım debisini yalnızca %2,4 artırmaktadır. Bunun nedeni, Ek E bağıntısında M_b teriminin toplam içindeki payının küçük olması ve tabaka derinliğinin 2/3 üssüyle girmesidir; zincir, ilk adımdaki hatayı belirgin biçimde sönümlemektedir.

İkincisi, duman bariyeri (downstand) varlığı kabulünün etkisi bundan bir mertebe büyüktür. Duman bariyeri (downstand) kabulü, yayılım debisini yaklaşık %18 artırmakta ve daha önemlisi tabaka derinliğini iki katından fazla büyütmektedir (0,74 m → 2,05 m). Tabaka derinliği, hem duman perdesi (screening channel) derinliğinin hem de duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolünün belirleyici girdisi olduğundan, bu kabul zincirin sonraki halkalarına da taşınmaktadır. Ek D.1'deki iki katı kuralının fiziksel bir türetmeye değil, akışın iki yöne ayrılması gözlemine dayandığı düşünüldüğünde, ara geometrilerde bu kabulün gerekçelendirilmesi gerekmektedir.

Üçüncü bir duyarlılık, taşma duman yayılımının serbest mi yoksa yüzeye bitişik mi kabul edildiğidir. Aynı geometride C_m = 0,44 yerine C_m = 0,21 alınması, yayılım debisini 81,7 kg/s'den 42,8 kg/s'ye düşürmektedir; oran yaklaşık 1,9'dur. Bu kabul, hesabın tek bir katsayı değişikliğiyle tahliye debisini yarıya indirebildiği en kritik seçimdir ve yalnızca düz, kesintisiz düşey yüzeylerde savunulabilir.

4.6.2.3 İkinci Senaryo — Kompakt Atrium: Ortak Bağıntının İki Kaynaktaki Karşılığı

Yapısal olarak yalıtılmış bir atriumda alev bölgesi içinde kalan bir yükselme incelenmiştir: Q_f = 2500 kW; r = 0,70; yangından tavana yükseklik H = 5,0 m; duman tabakası kalınlığı h = 2,0 m; buradan z = 3,0 m. Alev ucu yüksekliği z_l = 0,166·Q_c^0,4 = 3,29 m olduğundan z < z_l koşulu sağlanmakta ve alev bölgesi bağıntısı geçerli olmaktadır.

MP Denklem (8) ile G_k = 8,47 kg/s, NFPA 92 Denklem (5.5.1.1f) ile m = 8,47 kg/s elde edilmektedir. İki sonuç arasındaki fark sıfırdır; her iki bağıntı da 0,032·Q_c^(3/5)·z formundadır. Türetilen büyüklükler Θ = 205,5 K, T = 498,6 K ve V = 12,01 m³⁄s'dir.

Bu sonuç, standart aileleri arasındaki farkın her yerde yöntemsel olmadığını göstermektedir. Alev bölgesi gibi, deneysel dayanağı ortak ve tartışmasız olan durumlarda üç aile aynı bağıntıda buluşmaktadır. Ayrışma, taşma duman yayılımı gibi geometrinin karmaşıklaştığı ve modelleme tercihinin devreye girdiği senaryolarda ortaya çıkmaktadır.

4.6.2.4 Üçüncü Senaryo — Ampirik Koridor Hesabı ve Eksik Doğrulama Kontrolü

Kamusal bir binada koridor duman tahliyesi, El Kitabı 4.91 Denklem (2) ile hesaplanmıştır: koridordaki kapıların toplam genişliği B = 3,6 m; n = 1,05; kapı yüksekliği H_d = 2,4 m; K_d = 1,0. Bağıntı G = 60 433 kg/saat (16,79 kg/s) vermektedir. Konut bağıntısı (Denklem 1) aynı geometri için 48 066 kg/saat (13,35 kg/s) üretmekte; iki bina tipi arasındaki fark, yalnızca bağıntı katsayısından (3420 / 4300) kaynaklanmaktadır.

Hacimsel debiye dönüşümde, MP doğrulama örneğindeki koridor tabakası sıcaklığı (T_sm = 371 K) esas alındığında ρ_s = 353/371 = 0,951 kg/m³ ve V = 17,64 m³⁄s (63 515 m³⁄saat) elde edilir.

Bu noktada Rus metodolojisi sona ermektedir; menfez sayısı ve yerleşimi için tanımlı bir kontrol yoktur. Aynı debiye NFPA 92 §5.6 Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolü uygulandığında, gereken en az menfez sayısı Tablo 6'daki gibi ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6. Aynı tahliye debisine (17,64 m³⁄s) NFPA §5.6 kontrolü uygulanması

Tabaka derinliği d [m]	Menfez konumu (γ)	V_max [m³⁄s]	Gereken menfez sayısı N
0,6	duvara bitişik (0,5)	0,30	≥ 60
0,6	serbest (1,0)	0,60	≥ 30
1,0	duvara bitişik (0,5)	1,07	≥ 17
1,0	serbest (1,0)	2,14	≥ 9
1,5	duvara bitişik (0,5)	2,95	≥ 6
1,5	serbest (1,0)	5,91	≥ 3

Tablo iki sonuç vermektedir. Birincisi, Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi sınırının tabaka derinliğinin 5/2 üssüyle değişmesi nedeniyle, derinliğin 0,6 m'den 1,5 m'ye çıkarılması gereken menfez sayısını bir mertebe azaltmaktadır; koridor geometrisinde tabaka derinliği, tahliye debisi kadar belirleyici bir tasarım değişkenidir. İkincisi, menfezin duvara bitişik konumlandırılması konum katsayısını yarıya düşürerek menfez sayısını iki katına çıkarmaktadır.

Buna ek olarak d/D_i > 2 koşulu ayrıca sağlanmalıdır. Tabaka derinliğinin 1,0 m olduğu durumda 0,8 × 0,8 m'lik bir menfez için D_i = 0,80 m ve d/D_i = 1,25 elde edilir; koşul sağlanmadığından bu menfez geometrisi, debi bakımından yeterli görünse dahi geçersizdir ve daha küçük menfezlere geçilmesi gerekir.

Rus metodolojisiyle yürütülen bir tasarımda bu denetimlerin hiçbiri yapılmamaktadır. Tahliye debisi doğru hesaplanmış olsa bile, menfez sayısı ve yerleşimi bakımından sistemin fiilen çalışıp çalışmayacağı hesapla gösterilememektedir. Uluslararası projelerde, ana hesap hangi düzenlemeye göre yapılırsa yapılsın, tahliye noktası kontrolünün iyi mühendislik uygulaması olarak eklenmesi bu nedenle önerilmektedir.

4.6.3 Bulgular

Birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yönteminin duyarlılığı. Ek C→D→E zincirinde, ilk adımdaki akış katsayısı seçimi (0,65 / 0,8 / 1,0) doğrudan M_w'yi, M_w ise sırasıyla balkon altı debiyi, tabaka derinliğini ve taşma duman yayılımı debisini belirler. Tabaka derinliği bağıntısının 2/3 üssü, bu hatayı kısmen sönümlemekle birlikte tamamen gidermez. Buna ek olarak duman bariyeri (downstand) varlığında uygulanan iki katı kuralı, fiziksel bir türetmeye değil akışın iki yöne ayrılması gözlemine dayandığından, ara geometrilerde belirsizlik taşır. Dolayısıyla birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yönteminin sunduğu geometrik ayrıntı, beraberinde kabul duyarlılığı getirmektedir.

Kapalı form analitik bağıntıların sınırları. NFPA yaklaşımı bu duyarlılığı ortadan kaldırır; ancak bunu, geometriyi tek bir etkin genişlik parametresine indirgeyerek yapar. Etkin genişliğin 14 m'yi aştığı düzenlerde tanımlı bir rejim bulunmaması, geniş galerilerde yöntemin doğrudan uygulanamamasına yol açar. Ayrıca üç rejim bağıntısından birincisinin toplam ısı salım hızı, diğer ikisinin konvektif ısı açığa çıkma oranıile tanımlı olması, rejim sınırında süreksizlik benzeri bir davranış üretir ve dikkatli kullanım gerektirir.

Ampirik yöntemin kapsamı. Rus koridor ve kamusal mahal bağıntıları, girdi aralıkları içinde hızlı ve tekrarlanabilir sonuç verir. Ancak modelin içinde bir doğrulama mekanizması yoktur: Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolü tanımlı değildir ve menfez sayısı ile yerleşimi hesapla doğrulanamaz. Bu durum, aynı projenin Rus SNIP ve Avrupa/Amerikan düzenlemelerine göre çözülmesi hâlinde, tahliye debisi yakın çıksa dahi farklı menfez sayılarına ulaşılmasına yol açmaktadır. Buna karşılık yangına komşu koridor yöntemi, oda-koridor ısıl dengesini açık biçimde kurmasıyla diğer ampirik bağıntılardan ayrılır ve fiziksel içeriği daha yüksektir.

Doğrulama kontrolünün belirleyiciliği. İncelenen atrium düzenlerinde, duman üretim hesabının verdiği toplam debiyi karşılamak için gereken menfez sayısı çoğu durumda Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi sınırınca belirlenmektedir. Tabaka derinliğinin yetersiz kaldığı geometrilerde, tasarım debisi sağlanabilse dahi d/D_i > 2 koşulu sağlanamadığından menfez yerleşimi geçersiz kalmaktadır. Bu nedenle duman üretim hesabının, menfez boyutlandırma ve yerleşim kontrolüyle birlikte yürütülmesi gerekmektedir.

Basınç farkı sistemlerinde yöntemsel fark. IBC §909.6.1, duman bölgelerini ayıran bariyer boyunca tam sprinklerli binalarda en az 0,05 inç su sütunu duman yayılımını (0,0124 kPa; 12,4 Pa) basınç farkı istemekte; üst sınırı ise §909.6.2 uyarınca kapı açma kuvveti belirlemektedir. Buna karşılık EN 12101-13 kapılar kapalı ve kapı açık senaryolarını ayrı ayrı çözüp büyük debiyi esas almakta ve buna %15 kanal payı eklemektedir. Merdiven ve asansörün birlikte korunduğu, tahliyenin koridora yapıldığı düzende ise A.17 bileşimine asansör kuyusu payı eklenmekte ve iki açıklığın seri kurulumu basınç dengesini değiştirmektedir. BYKHY'nin 50 Pa hedefi ile EN yönteminin senaryo temelli sonucu aynı binada farklı fan seçimlerine götürebildiğinden, Türkiye'deki projelerde iki ölçütün birlikte sağlandığının gösterilmesi uygun olmaktadır.

4.7 Bu Bölümün Sonuçları

Bu çalışmada, duman kontrolü ve basınç farkı sistemlerine ilişkin on üç hesap yöntemi (yazılımda ise yirmi yedi ana modül + 10 yardımcı modül yer almaktadır); amaç, geçerlilik sınırları, bağıntılar ile girdi ve çıktı değişkenleri başlıkları altında ortak bir çerçevede belgelenmiş ve kaynak dokümanlardaki çözümlü örneklere karşı doğrulanmıştır.

Birinci bulgu, standartlar arasındaki farkın yalnızca bağıntı katsayılarında değil, yöntemsel yapıda olduğudur. Birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm, kapalı ve ampirik yaklaşımlar aynı fiziksel olguyu farklı soyutlama düzeylerinde ele almakta; bu da tasarımcının hangi belirsizliği taşıyacağını belirlemektedir. Birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yöntemi geometrik ayrıntı sunarken ara kabul duyarlılığı getirir; kapalı form analitik bağıntılar bu duyarlılığı giderirken geometrik kapsamı daraltır; ampirik yöntem hız kazandırırken doğrulama olanağını azaltır. İncelenen balkon taşma senaryosunda iki yöntemin verdiği hacimsel tahliye debileri arasındaki 2,9 katlık oran, bu yapısal farkın büyüklüğünü göstermektedir.

Buna karşılık, ayrışmanın her senaryoda ortaya çıkmadığı da görülmüştür. Alev bölgesi içinde kalan bir yükselmede Rus SNIP ve Amerikan bağıntıları aynı formda olup birebir aynı sonucu vermektedir. Yöntemsel

ayrışma, geometrinin karmaşıklaştığı ve modelleme tercihinin devreye girdiği durumlarda belirginleşmektedir; deneysel dayanağın ortak olduğu basit hâllerde standartlar buluşmaktadır.

İkinci bulgu, geçerlilik sınırlarının en az bağıntılar kadar belirleyici olduğudur. Açıklık sıcaklık artışının 68 °C'nin altında kalması, tabaka sıcaklığının 550 °C'ye ulaşması, etkin genişliğin 14 m'yi aşması, kapı yüksekliğinin 2,0–2,5 m aralığının dışına çıkması ya da tabaka derinliği-menfez çapı oranının ikinin altına düşmesi gibi koşullar, hesabın sayısal olarak sonuç üretmeye devam ettiği ancak fiziksel dayanağını yitirdiği durumlardır. Bu sınırların tasarım sürecinde açıkça denetlenmesi gerekmektedir.

Üçüncü bulgu, doğrulama kontrollerinin standart ailelerine eşit dağılmadığıdır. Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolünün Rus SNIP metodolojisinde bulunmaması, uluslararası projelerde yöntem birliği açısından bir boşluğa işaret etmektedir. Ampirik yöntemle bulunan koridor tahliye debisine bu kontrol uygulandığında, gereken menfez sayısının tabaka derinliği ve menfez konumuna bağlı olarak 3 ile 60 arasında değiştiği; ayrıca belirli menfez boyutlarında d/D_i > 2 koşulunun hiç sağlanamadığı görülmüştür. Tahliye kapasitesinin kâğıt üzerinde değil fiilen sağlanabilmesi için, duman üretim hesabının tahliye noktası kontrolüyle birlikte yürütülmesi gereklidir.

Dördüncü bulgu, birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm yönteminde belirsizliğin kaynaklarının eşit ağırlıkta olmadığıdır. Akış katsayısı seçimi yayılım debisini yalnızca %2,4 mertebesinde etkilerken, duman bariyeri (downstand) varlığı kabulü debiyi %18, taşma duman yayılımının yüzeye bitişik kabul edilmesi ise yaklaşık iki kat değiştirmektedir. Dolayısıyla hesap raporlarında katsayı değerlerinin tek tek listelenmesi değil, geometrik kabullerin gerekçelendirilmesi önem taşımaktadır.

Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde, BYKHY'nin hesap yöntemi tanımlamaması, uygulamada NFPA 92 ve EN 12101 serisinin referans alınmasıyla sonuçlanmaktadır. Hangi senaryoda hangi yaklaşımın hangi belirsizliği taşıdığının bilinmesi; ayrıca hesabın hangi kabullerle yürütüldüğünün izlenebilir biçimde belgelenmesi, denetim ve onay süreçlerinin sağlıklı işlemesi için önem taşımaktadır.

4.8 EK A — İncelenen Yöntemler ve Bağıntı Kaynakları

Yöntem	Bağıntı	Kaynak
NFPA balkon taşma	m = 0,36·(Q·W²)^(1/3)·(z_b + 0,25·H); yüksek atrium 5.5.2.8b / 5.5.2.9b	NFPA 92 (2024), §5.5.2
NFPA Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi	V_max = 4,16·γ·d^2,5·√(ΔT/T_0); D_i = 2ab/(a+b); S_min = 0,9·√V_e	NFPA 92 (2024), §5.6 (5.6.3b/5.6.8/5.6.9b)
CEN açıklık akışı	M_w = C_ePWH^1,5 / [W^(2/3) + (1/C_d)(C_eP/2)^(2/3)]^1,5	CEN/TR 12101-5, Ek C, Denk. C.1
CEN balkon altı akış	M_b = 2·M_w veya M_w; d = (0,36/C_d)·[(M_b·T)/(W_s·√Θ·√T_0)]^(2/3)	CEN/TR 12101-5, Ek D, Denk. D.1/D.2/D.3
CEN taşma duman yayılımı	M = 0,3·C_m·ρ_0· W_s^(2/3)·Q_w^(1/3))·(H_r + d) + M_b; C_m = 0,44 / 0,21	CEN/TR 12101-5, Ek E; BRE 368 Denk. 6.3/6.4/6.8
CEN vantilatör	V = M·T_l/(ρ_0·T_0); A_v·C_v = M·T_l/[ρ_0·√(2g·d·Θ·T_0)]	CEN/TR 12101-5, Ek F, Denk. F.5/F.7
CEN koridor duman yayılımı	Ek C.1 → Ek D.1/D.2/D.3 → Ek E → Ek F zinciri	CEN/TR 12101-5, Ek C–F; BRE 368
Rus SNIP koridor tahliyesi	G = 3420·B·n·H_d^1,5 / 4300·B·n·H_d^1,5·K_d	SP 7.13130; El Kitabı 4.91, Denk. (1)/(2)
Rus SNIP kamusal mahal	G = 676,8·P_p·Y^1,5·K_es; P_p = 4·√A_p	El Kitabı 4.91, Böl. 2.7, Denk. (21)
MP kompakt atrium	G_k = 0,032·Q_c^(3/5)·z; z = H − h	МР к СП 7.13130.2013, Denk. (8)
MP komşu koridor	T_sm (16); G_sm = k_sm·A_d·√H_d (17); ρ_s = 353/T_sm	МР к СП 7.13130.2013, §3.2.1
EN 12101-13 Ek A	Q = 0,83·A·ΔP^(1/R); Q_Sx = max(Q_TDC, Q_TDO); Q_DESIGN = 1,15·Q_Sx	EN 12101-13:2022, Ek A (A.3–A.28)
EN 12101-13 düzen	Q_VA = Q_DO + Q_LD/n (iki açıklık seri)	EN 12101-13:2022, 5.6.3.5, Şekil 8; Denk. (A.17)

4.9 EK B — Sembol Listesi

Yazılım değişkenleri kullanılan figürlerdeki ile aynı olmakla birlikte burada verilen kod tabanlı değişken isimleri farklılık gösterebilir. Tüm formüller ve değişkenler yazılım ve kodlar bazında aynıdır.

Sembol	Açıklama	Birim
A_c , l_c	Koridor taban alanı, koridor uzunluğu	m² , m
A_d , H_d	Tahliye kapısı alanı, yüksekliği	m² , m
A_p , P_p	Yangın alanı, yangın çevresi	m² , m
A_PV	Basınç boşaltma açıklığı alanı	m²
A_v , C_v	Doğal havalandırma açıklık alanı, vantilatör debi katsayısı	m² , –
A_VA , A_VS	Tahliye menfezi ve şaft alanı	m²
a_i , b_i , D_i	Menfez kenarları ve eşdeğer çapı	m
B , n	Koridordaki kapıların toplam genişliği, bağlı katsayı	m , –
C_d	Akış katsayısı	–
C_e	Sürüklenme katsayısı (0,19 / 0,337)	–
C_m	Taşma duman yayılımı sürüklenme katsayısı (0,44 serbest / 0,21 bitişik)	–
c , c_p	Özgül ısı	kJ/kg·K
d	Duman tabakası derinliği	m
F_dc , M	Kapı kapatıcı kuvveti, kapatıcı torku	N , N·m
G , G_k , G_sm	Kütlesel tahliye debisi (Rus yöntemleri)	kg/saat , kg/s
H	Balkon veya açıklık yüksekliği	m
H_r , z_b	Taşma kenarı üstü Taşma yüksekliği	m
h_sm	Sınır duman tabakası kalınlığı	m
K_d , K_es	Tahliye ve havalandırma/sprinkler çarpanları	–
k_sm	Bina katsayısı (konut 1,0 / kamusal 1,2)	kg/(s·m^2,5)
M , m	Duman yayılımı kütle debisi	kg/s
M_w , M_b	Açıklık ve balkon altı kütle debisi	kg/s
N	Menfez sayısı	–
P	Yangın çevre uzunluğu	m
P_SC , P_US	Merdiven ve korumasız hacim basıncı	Pa
Q , Q_c , Q_f	Toplam, konvektif ve yangın ısı salım hızı	kW
Q_w	Açıklıktaki konvektif ısı akısı (0,8·Q)	kW
Q_DO , Q_VA	Açık kapı debisi, tahliyenin alması gereken debi	m³/s
Q_Sx , Q_DESIGN	Yönetici besleme debisi, fan tasarım debisi	m³/s
R	Açıklık üssü (2 kapı / 1,6 çatlak)	–
r , X	Konvektif oran	–
S_min	Menfezler arası en küçük mesafe	m
T , T_0 , T_l , T_sm	Tabaka, ortam, rezervuar ve koridor tabakası sıcaklığı	K
V , V_e , V_max	Hacimsel debi, menfez başına debi, duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi sınırı	m³/s
W , W_s	Etkin yayılım genişliği, taşma/tabaka genişliği	m
w , b	Açıklık genişliği, açıklıktan balkon kenarına mesafe	m
Y , z	Temiz yükseklik, yayılım Taşma yüksekliği	m
z_l	Alev ucu (sınır) yüksekliği	m
γ	Menfez konum katsayısı (0,5 / 1,0)	–
Δ	Eşdeğer köken düzeltmesi	m
ΔP	Basınç farkı	Pa
Θ	Duman tabakası sıcaklık artışı	K
ρ , ρ_0 , ρ_s	Duman, ortam ve tabaka yoğunluğu	kg/m³

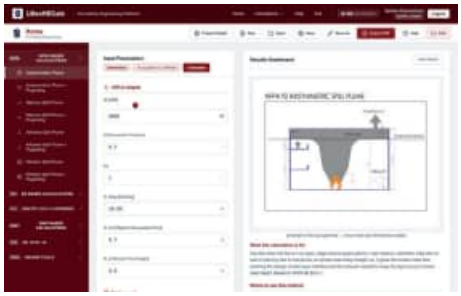
5. PROGRAM MENÜLERİ VE HESAP MODÜLLERİ

Bu bölümde her hesap menüsü ayrı bir alt başlıkta; (1) neden gereklidir / amaç ve kullanım alanı, (2) kullanılmaması gereken durumlar ve sınırlamalar, (3) Ülke yasal düzenleme ve standartları gereklilikleri, ile birlikte sunulmaktadır. (4) formüllerle hesaplama yöntemi, (5) girdiler ve (6) çıktılar 4. Bölümde detaylı verildiği için bu bölümde tekrar sunulmamıştır. Sıcaklık, yoğunluk ve hacimsel debi gibi türetilen ortak büyüklüklerin formülleri Bölüm 4.5'te toplu olarak verilmiştir.

5.1 NFPA 92 Modülleri

NFPA 92, büyük hacimli mekânlarda (atrium vb.) duman tabakası ara yüzeyine ulaşan kütlesel duman debisini üç temel duman yayılımı geometrisi için verir: eksenel simetrik, balkon taşma ve pencere taşma. Her modülün '+ Duman tabakasının delinmesi ' varyantı, aynı duman üretim hesabına ek olarak NFPA 92 §5.6 menfez (egzoz girişi) kontrolünü uygular: tek bir menfezden duman tabakasının delinmesi olmadan çekilebilecek maksimum hacimsel debi (Vmax), menfez başına düşen debi (Ve), minimum menfez aralığı (Smin) ve d/Di oranı kontrol edilir. Tüm NFPA modüllerinde ısıl büyüklükler mutlak sıcaklık ve ideal gaz bağıntısı ile hesaplanır.

5.1.1 Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (Axisymmetric Plume)



Resim 9. Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (Axisymmetric Plume) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yanal sınırlaması olmayan, yangının doğrudan altında bulunduğu duman tabakasına yükselen serbest duman yayılımını modeller. Atrium, sergi salonu, spor salonu, terminal binası gibi açık/geniş hacimlerde, tavan altı duman tabakasını belirli bir temiz yükseklikte tutmak için gerekli tahliye debisinin hesabında kullanılır. Yangının hacmin ortasında, duvarlardan uzakta olduğu senaryolar için doğru modeldir.

2) Sınırlamalar: Duman yayılımı sıcaklık artışı (Tp − To) 2.2 °C'nin altındaysa bağıntılar geçersizdir (NFPA 92 §5.5.1.2); Yayılım çapı (dp = Kd·z) duvarlara veya iki paralel duvara temas ediyorsa, temas noktası duman tabakası ara yüzeyi…. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909.8 egzoz yöntemi ve NFPA 101 atrium hükümleri, atrium duman kontrol hesabının…; Birleşik Krallık — Approved Document B kapsamındaki performans tabanlı tasarımlarda kabul edilir; Avrupa (AB) — EN 12101 ürün standartları hesap yöntemi dayatmaz; Rusya — SP 7.13130 zorunlu olduğundan NFPA hesabı tek başına yeterli değildir; Türkiye — BYKHY atriumlarda duman kontrolü ister.

5.1.2 Eksenel Simetrik Duman Yayılımı + Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi (Plugholing)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

5.1.1 modülünün duman üretim hesabına ek olarak, mekanik tahliye menfezlerinin (egzoz girişlerinin) boyutlandırma ve yerleşim kontrolünü yapar. Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi ; bir menfezden aşırı debi çekildiğinde duman tabakasının delinerek alttaki temiz havanın emilmesi olayıdır ve tahliye verimini düşürür. Bu modül, tek menfezden çekilebilecek maksimum debiyi (Vmax), gerekli menfez

sayısını ve menfezler arası minimum mesafeyi belirlemek için, egzoz sistemi tasarımının son aşamasında kullanılır.

2) Sınırlamalar: Bu modül duman üretim hesabının yerine geçmez; d/Di oranı 2'den küçükse (tabaka derinliği menfez çapına göre yetersizse) Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolü fiziksel…. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909.8 egzoz yönteminde Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolü zorunludur; Birleşik Krallık — İngiliz pratiğinde eşdeğer kontrol BS 7346-4 / CEN/TR 12101-5 Annex F 'kritik egzoz…; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex F.6, Denk; Rusya — MP metodolojisinde açık bir Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi bağıntısı yoktur.

5.1.3 Balkon Taşma Duman Yayılımı (Balcony Spill Plume)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yangın odasından çıkan dumanın bir balkon/çıkma altından yanal olarak yayılıp balkon kenarında dönerek atriuma yükseldiği durumu modeller. Çok katlı atrium ve galerili AVM/otel gibi mekânlarda, balkon kenarından atriuma dökülen duman yayılımının kütle debisini verir. z_b'nin 15 m eşiğine göre alçak ve yüksek atrium rejimleri otomatik seçilir.

2) Sınırlamalar: Sıcaklık artışı (Tp − To) < 2.2 °C ise Denk; W > 14 m, NFPA yüksek-atrium bağıntılarının (5.5.2.8/5.5.2.9) geçerlilik aralığı dışındadır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909 kapsamındaki galerili atriumlarda standart senaryodur; Birleşik Krallık — İngiliz pratiğinde balkon taşma hesabı BRE 368 / BS 7346-4 (Poreh-Morgan yöntemleri) ile…; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex E taşma duman yayılımı hesabını BRE 368'e havale eder; Rusya — MP Denk; Türkiye — BYKHY kapsamındaki galerili AVM atriumlarında NFPA 92 balkon taşma….

5.1.4 Balkon Taşma Duman Yayılımı + Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

5.1.3 balkon taşma hesabına ek olarak, atrium egzoz menfezlerinin NFPA 92 §5.6 Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi kontrolünü uygular. Galerili atriumlarda egzoz noktalarının sayı, boyut ve yerleşiminin doğrulanması için kullanılır.

2) Sınırlamalar: 5.1.3'ün tüm sınırlamaları (z_b/W rejim sınırları, W <= 14 m, §5.5.2.10 çift senaryo şartı) aynen geçerlidir; d/Di > 2 sağlanamıyorsa menfez geometrisi revize edilmelidir (§5.6.7). Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909.8: egzoz yöntemi kullanılan atriumlarda menfez başına Vmax ve Smin kontrolü…; Birleşik Krallık — UK pratiğinde eşdeğer kontrol CEN/TR 12101-5 Annex F / BS 7346-4 Mcrit bağıntılarıyla…; Avrupa (AB) — AB projelerinde Annex F.6 (Denk. F.9/F.10) tercih edilir; Rusya — MP'de karşılığı yoktur.

5.1.5 Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı (Adhered Spill Plume)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Duman yayılımının açıklığın üzerindeki düşey yüzeye yapışarak yükseldiği (tek taraflı sürüklenme) durumu modeller. Açıklık atrium cephesiyle hemyüz ise (çıkma/balkon yoksa) duman düşey yüzeye yapışır ve serbest yayılıma göre yaklaşık yarısı kadar hava sürükler; bu modül bu geometriye özgü (daha düşük) kütle debisini verir.

2) Sınırlamalar: Açıklık ile atrium arasında duman bariyeri (downstand)lı balkon varsa yayılım yüzeyden ayrılır; Sıcaklık artışı < 2.2 °C ise temel taşma bağıntıları geçersizdir (§5.5.2.2). Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer almaktadır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 92'de bitişik yayılım için ayrı bir denklem verilmez; Birleşik Krallık — İngiliz pratiği bitişik (adhered/single-sided) taşma için BRE 368 Poreh yöntemini Cm =…; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex E.1 yüzeye bitişik taşma duman yayılımı tanır ve BRE 368'e atıf yapar; Rusya — MP'de doğrudan karşılığı yoktur.

5.1.6 Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı + Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

5.1.5 bitişik taşma hesabına ek olarak NFPA 92 §5.6 menfez kontrolünü uygular. Cepheye bitişik yükselen dumanın toplandığı rezervuarlarda egzoz menfezi doğrulaması için kullanılır.

2) Sınırlamalar: 5.1.5'in tüm sınırlamaları aynen geçerlidir; Yüzeye bitişik taşma duman yayılımı senaryosunda menfezler sıklıkla duvara yakın konumlanır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909.8 + NFPA 92 §5.6 aynen uygulanır; Birleşik Krallık — UK: CEN Annex F.9 (duvara bitişik, katsayı 1.3) doğrudan bu senaryonun karşılığıdır; Avrupa (AB) — AB: Annex F.9/F.10 kütlesel kontrol; Rusya — Rusya: karşılığı yok.

5.1.7 Pencere Taşma Duman Yayılımı (Window Spill Plume)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Havalandırma-kontrollü (yakıt yerine hava ile sınırlı, flashover sonrası) yangınlarda, pencereden dışarı çıkan alev ve dumanın oluşturduğu duman yayılımını modeller. HRR doğrudan pencere geometrisinden hesaplanır; sprinklersiz yangın odasının penceresinin atrium/geniş hacme baktığı durumlarda kullanılır.

2) Sınırlamalar: Yalnızca havalandırma-sınırlı (tam gelişmiş) oda yangınları için geçerlidir; Sprinklerli mahallerde tam gelişmiş oda yangını beklenmediğinden pencere duman yayılımını tasarım senaryosu olarak…. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 92 §5.5.3 ABD projelerinde tam gelişmiş oda yangını senaryosu olarak uygulanır (IBC…; Birleşik Krallık — UK pratiğinde karşılığı, CEN/BRE zincirinde 'fully-involved fire' uyarısıyla ele alınır; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex C.3, tam gelişmiş oda yangınına dayalı SHEVS tasarımının ancak özel…; Rusya — MP'de doğrudan karşılığı yoktur.

5.1.8 Pencere Taşma Duman Yayılımı + Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

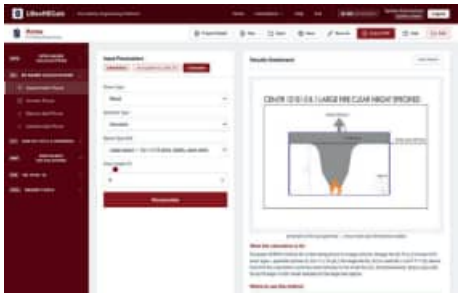
5.1.7 pencere taşma hesabına ek olarak NFPA 92 §5.6 menfez kontrolünü uygular; tam gelişmiş oda yangını senaryosunda atrium egzoz menfezlerinin doğrulanması için kullanılır.

2) Sınırlamalar: 5.1.7'nin tüm sınırlamaları (yalnız havalandırma-sınırlı yangın, sprinklersiz oda) aynen geçerlidir; d/Di > 2 ve Ks = 0.5 şartları 5.1.2 ile aynıdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — IBC §909.8 + NFPA 92 §5.6 aynen uygulanır; Birleşik Krallık — UK: CEN Annex F Mcrit kontrolü eşdeğerdir; Avrupa (AB) — AB: Annex F.9/F.10 tercih edilir; Rusya — Rusya: karşılığı yok.

Kaynak: CEN/TR 12101-5:2005, Annex A (sabit rejim yangınları) ve tasarım yangını çevre uzunlukları.

5.2.1 Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (Annex B, Denk. B.2)



Resim 10. Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (Annex B, Denk. B.2) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Büyük hacimli mahalde serbest yükselen duman yayılımı için kütle debisini yangın çevresi ve temiz yükseklik üzerinden verir. Sürüklenme katsayısı Ce mekân tipine bağlıdır: büyük hacimli mekânlarda (oditoryum, stadyum, atrium) 0.19; küçük/hücresel mekânlarda (dükkân, hücre ofis, otel odası) 0.337. Avrupa yasal düzenlemelerine ve standartlarına tabi atrium/geniş hacim tasarımlarında kullanılır.

2) Sınırlamalar: Bağıntı 'büyük yangın' plume'ları içindir: Y > 10*sqrt(A_f) ise (küçük yangın rejimi) B.2 geçersizdir; Balkon/taşma geometrilerinde kullanılmaz. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD pratiğinde karşılığı NFPA 92 eksenel simetrik modülüdür; Birleşik Krallık — BS 7346-4 ve BRE 368'in temel bağıntısıdır; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5:2005 Annex B, Denk; Rusya — SP 7.13130 kapsamında karşılığı MP Denk.

5.2.2 Koridor Duman Yayılımı (Corridor Plume)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yangın odasından koridora çıkan dumanın, koridor boyunca ilerleyip atrium kenarında taşma duman yayılımına dönüştüğü senaryoyu, birden çok CEN eki (Annex C → D → E) ve BRE 368 sürüklenme bağıntılarını

birbirini izleyen hesap adımlarından oluşan zincirleme çözüm kullanarak modeller. Otel/hastane koridorlarının atriuma açıldığı düzenlerde kullanılır.

2) Sınırlamalar: Açıklıktaki tabaka sıcaklık artışı Theta_w < 68 °C ise Annex C Denk; Tabaka sıcaklığı 550 °C'ye ulaşıyorsa oda flashover'a gider (Annex C.2/C.3). Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de bu zincirin karşılığı yoktur; Birleşik Krallık — BRE 368'in tipik uygulamasıdır; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex C→D→E resmi hesap yoludur; Rusya — Rusya'da komşu koridor senaryosu MP §3.2.1 (bkz. 5.3.7) ile hesaplanır.

5.2.3 Balkon Taşma Duman Yayılımı (Balcony Spill — Annex C→D→E)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yangın odasından balkon/çıkma altına dökülüp atriuma yükselen dumanı, CEN Annex C (açıklık) → Annex D (balkon altı) → Annex E/BRE 368 (yükselen taşma duman yayılımı) zinciriyle modeller. Serbest (iki taraflı sürüklenmeli) taşma duman yayılımıdır; Cm = 0.44 kullanılır. Galerili AVM ve atriumlarda Avrupa/İngiliz yasal düzenlemelerine ve standartlarına göre tasarım yapılırken kullanılır.

2) Sınırlamalar: Theta_w < 68 °C ise C.1 geçersizdir; Kanal perdeleri yoksa taşma genişliği W'nin balkon altına yanal yayılmayla büyümesi ayrıca değerlendirilmelidir (Annex…. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de karşılığı NFPA 92 balkon taşma (5.1.3) modülüdür; Birleşik Krallık — BRE 368/BS 7346-4 yöntemi — Approved Document B projelerinde standart balkon taşma…; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex C→D→E resmi yoldur; Rusya — Rusya'da MP Denk.

5.2.4 Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı (Adhered Spill — Annex E.1)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Taşma kenarından çıkan dumanın düşey yüzeye yapışarak (tek taraflı sürüklenme ile) yükseldiği durumu modeller. Poreh bağıntısı Cm = 0.21 ile kullanılır ve uç sürüklenme terimi uygulanmaz. Açıklığın atrium cephesiyle hemyüz olduğu Avrupa/İngiliz projelerinde kullanılır.

2) Sınırlamalar: Duman bariyeri (downstand)lı balkon duman yayılımını yüzeyden ayırıyorsa serbest taşma (5.2.3) kullanılmalıdır; Theta_w < 68 °C sınırı ve flashover kontrolü (Annex C) burada da geçerlidir. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD karşılığı NFPA bitişik taşma (5.1.5, m_free/2) modülüdür; Birleşik Krallık — BRE 368 tek taraflı sürüklenme (Cm = 0.21) İngiliz pratiğinin standart yoludur; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex E.1 — AB projelerinde resmi yöntemdir; Rusya — Rusya'da doğrudan karşılığı yoktur.

5.2.5 Vantilatör Boyutlandırma (Ventilator Sizing — Annex F)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Verilen kütle debisi, tabaka sıcaklık artışı ve tabaka derinliği için mekanik tahliye hacmini, doğal havalandırma açıklık alanını ve duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi sınırını hesaplar. Plume modüllerinden elde edilen M ve Theta değerleriyle fan/açıklık ve minimum menfez sayısı boyutlandırmasında kullanılır.

2) Sınırlamalar: Doğal vantilatör hesabı (F.7) rüzgâr etkilerini içermez; Farklı kotlardaki vantilatörler için F.7 her vantilatöre ayrı uygulanmalı ve toplam F.8 ile doğrulanmalıdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

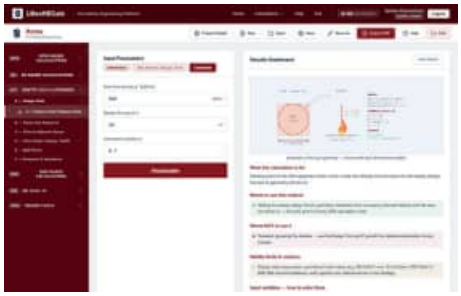
3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD karşılığı NFPA 92 §5.6/§5.7'dir (Vmax, V); Birleşik Krallık — BS 7346-4 aynı Annex F bağıntılarını kullanır; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex F — AB projelerinde vantilatör boyutlandırmanın resmi kaynağıdır; Rusya — Rusya'da hacimsel debi MP ısıl bağıntılarından türetilir.

5.2.6 CEN/TR 12101-5 Ek Menüsü (Annex A-F Hesapları)

Yukarıdaki hızlı duman yayılımı menülerine ek olarak, CEN/TR 12101-5'in hesap ekleri (Annex A-F) birebir izlenerek ayrı bir menü grubu oluşturulmuştur. Her ek harfi bir alt grup, her hesap standardın ilgili ek prosedürüne doğrudan karşılık gelir. Böylece kullanıcı, tasarım yangınından (Annex A) başlayıp duman yayılımı kütle debisi (Annex B), yangın odasından çıkış (Annex C), balkon altı akış (Annex D), taşma duman yayılımı (Annex E) ve rezervuar/vantilatör (Annex F) adımlarını standardın yapısına sadık kalarak zincirleyebilir. Ülke Yasal Düzenleme ve Standartları bağlamı 5.2.1-5.2.5 ile aynıdır: bu ekler Avrupa (CEN/TR) ve Birleşik Krallık (BRE 368/BS 7346-4) uygulamalarının resmi hesap yoludur; ABD'de NFPA 92, Rusya'da SP 7.13130/MP karşılıkları kullanılır.

Annex A — Tasarım Yangınları

A.1 Varsayılan Isı Açığa Çıkma Oranı (Default Heat Release Rate)



Resim 11. Varsayılan Isı Açığa Çıkma Oranı (Default Heat Release Rate) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Birim alan başına ısı açığa çıkma oranı yoğunluğundan sabit rejim tasarım yangınını ve yangın geometrisini (eşdeğer çap, çevre) belirler; diğer Annex hesaplarının girişidir.

2) Sınırlamalar: Sabit rejim (steady-state) kabulüdür; q" değerleri mahal kullanımına ve sprinkler durumuna uygun seçilmezse tüm zincir hatalı olur. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de tasarım yangını NFPA 92 Annex B / mühendislik analiziyle belirlenir; Birleşik Krallık — BRE 368 / BS 7346-4'ün tasarım yangını tabloları esastır; Avrupa (AB) — CEN/TR 12101-5 Annex A — AB projelerinde varsayılan tasarım yangını kaynağıdır; Rusya — Rusya'da tasarım yangını yükü СП/MP tablolarından (yangın yükü yoğunluğu) belirlenir.

Annex B — Rezervuara Yükselen Duman Yayılımı

B.1 Büyük Yangın — Belirli Temiz Yükseklik

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Temiz yükseklik Y verildiğinde büyük yangın duman yayılımının kütle debisini verir (Denk. B.2, Ce = 0.19).

2) Sınırlamalar: Y > 10*sqrt(A_f) ise küçük yangın rejimi geçerlidir; Taşma geometrilerinde kullanılmaz. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 5.5.1 karşılığı; Birleşik Krallık — BRE 368 temel bağıntısı; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex B resmi yolu; Rusya — MP Denk.

B.2 Büyük Yangın — Sıcaklık Kontrollü Tasarım

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

İzin verilen maksimum tabaka sıcaklık artışına göre gerekli kütle debisini ve temiz yüksekliği çözer (Denk. B.3 tersinden).

2) Sınırlamalar: Sıcaklık hedefi malzeme/sprinkler kriterlerine göre belirlenmelidir; Yazılım M_req hesabında toplam Q kullanır (muhafazakâr). Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de sıcaklık kontrollü tasarım NFPA 92 §5.5.5 üzerinden yapılır; Birleşik Krallık — BRE 368 'temperature control design' bölümü; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex B.2 resmi yolu; Rusya — MP'de karşılık: tabaka sıcaklığı bağıntıları.

B.3 Küçük Yangın — Belirli Temiz Yükseklik

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Uzun alevli (küçük) yangınlarda — Y > 10*sqrt(A_f) — Heskestad tipi nokta kaynak bağıntısıyla duman yayılımı kütle debisini verir.

2) Sınırlamalar: Y <= 10*sqrt(A_f) ise büyük yangın rejimi (B.1) kullanılmalıdır; Sanal köken düzeltmesi (Denk. B.5) ihmal edildiğinde sonuç bir miktar muhafazakârdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 5.5.1.1e ile birebir aynı bağıntıdır; Birleşik Krallık — BRE 368 küçük yangın bölümü; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex B.3 resmi yolu; Rusya — MP Denk.

B.4 Küçük Yangın — Sıcaklık Kontrollü Tasarım

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Maksimum tabaka sıcaklık artışına göre gerekli kütle debisini bulur ve küçük yangın bağıntısını tersine çözerek gerekli temiz yüksekliği verir.

2) Sınırlamalar: (M_req - 0.0018*Q_c) negatifse fiziksel çözüm yoktur; B.3'ün rejim sınırı burada da geçerlidir. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA §5.5.5 karşılığı; Birleşik Krallık — BRE 368 karşılığı; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex B.4 resmi yolu; Rusya — MP ısıl bağıntıları karşılığı.

Annex C — Komşu Hacme Duman Akışı

C.1 Açıklıktan Kütle Debisi (Mass Flow Through Opening)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yangın odasından bir açıklık (kapı/pencere) üzerinden komşu hacme çıkan sıcak dumanlı gazların kütle debisini verir; yakıt kontrollü (flashover öncesi) yangınlar içindir.

2) Sınırlamalar: Yalnızca yakıt kontrollü yangınlar için geçerlidir; Cd seçimi BRE 368 §5.2 / Annex C iterasyonu ile yapılmalıdır: deneme Cd0=0.65 → Dw. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de doğrudan karşılığı yoktur; Birleşik Krallık — BRE 368 / BS 7346-4 oda çıkış bağıntısı; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex C resmi yoldur; Rusya — Rusya'da MP §3.2.1 kapı bağıntısı (Denk. 17) kullanılır.

Annex D — Balkon/Soffit Altı Akış

D.1 Balkon Altı Kütle Debisi (Mass Flow Under Balcony)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Açıklıktan çıkan dumanın duman bariyeri (downstand)lı balkon/kanopi altında taşma kenarına doğru ilerleyen akışını ve akan tabaka derinliğini verir; duman perdesi (screening channel) derinliği seçiminde kullanılır.

2) Sınırlamalar: Duman perdesi (screening channel) derinliği en az (d_B + 0.1) m olmalıdır (Annex D.2); Downstand yoksa M_B = M_w alınır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de balkon altı akış NFPA W = w + b eşdeğer genişliğiyle örtük ele alınır; Birleşik Krallık — BRE 368 balkon altı akış bölümü; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex D resmi yoldur; Rusya — Rusya'da karşılığı yoktur.

Annex E — Taşma Duman Yayılımı

E.1 Serbest Taşma Duman Yayılımı ve Yüzeye Bitişik Taşma Duman Yayılımı

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Taşma kenarından rezervuara yükselen duman yayılımının kütle debisini verir. Serbest duman yayılımında iki kenardan (Cm = 0.44), yüzeye bitişik tek kenardan (Cm = 0.21) sürüklenme olur.

2) Sınırlamalar: Yükselme büyüdükçe duman yayılımı eksenel simetriğe yaklaşır; Yüzeye bitişik durum yalnızca düz, kesintisiz düşey yüzeyler için geçerlidir. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD karşılığı NFPA 5.5.2 bağıntılarıdır; Birleşik Krallık — BRE 368 §6-7 resmi UK yöntemidir; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex E, hesap için BRE 368'e atıf yapar; Rusya — Rusya'da MP Denk.

Annex F — Rezervuar ve Vantilatörler

F.1 Duman Tabakası Sıcaklığı (Smoke Layer Temperature)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Verilen kütle debisi için duman tabakasının sıcaklık artışını, mutlak sıcaklığını ve yoğunluğunu verir.

2) Sınırlamalar: Sprinkler soğutması ayrıca değerlendirilmelidir (Annex F.1); Durgun (stagnant) rezervuar bölgelerinde tabaka soğuması bağıntıda yoktur. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA §5.5.5 karşılığı; Birleşik Krallık — BS 7346-4/BRE 368 aynı bağıntı; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex F.1 resmi yolu; Rusya — MP ısıl bağıntıları karşılığı.

F.2 Minimum Rezervuar Derinliği / Duman Tabakasının Delinmesi, Duman Altı Hava Emilimi

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Belirli tabaka derinliği için Duman tabakasının delinmesi, duman altı hava emilimi sınırlarını ve gerekli minimum tahliye noktası sayısını verir; NFPA §5.6 kontrolünün CEN karşılığıdır.

2) Sınırlamalar: d^(5/2) formu Dv ~ d basitleştirmesine dayanır (F.10); Duvar kenarındaki menfezler için serbest katsayı (2.05) kullanılamaz. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 92 §5.6 (Vmax) karşılığıdır; Birleşik Krallık — BS 7346-4 aynı Mcrit bağıntısını kullanır; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex F.6 resmi yolu (F.9/F.10/F.11); Rusya — Rusya'da karşılığı yoktur.

F.4/F.5 Vantilatör Boyutlandırma (Ventilator Sizing)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Tabaka sıcaklığında mekanik tahliye hacmini ve doğal havalandırma açıklık alanını verir.

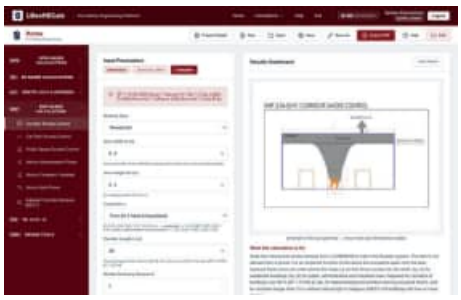
2) Sınırlamalar: Rüzgâr etkisi ve farklı kot düzeltmeleri 5.2.5'teki sınırlamalarla aynıdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA §5.7 karşılığı; Birleşik Krallık — BS 7346-4 karşılığı; Avrupa (AB) — CEN/TR Annex F.4/F.5 resmi yolu; Rusya — MP hacimsel debi bağıntısı karşılığı.

5.3 SP 7.13130 / El Kitabı 4.91 ve Metodik Tavsiyeler (MP) Modülleri

Rus yasal düzenlemeleri ve standartları iki katmanlıdır: SP 7.13130 ve El Kitabı 4.91, koridor/mahal/otopark tahliye debisini doğrudan kütlesel debi (kg/saat) olarak veren ampirik bağıntılar kullanır; SP 7.13130.2013'e ait Metodik Tavsiyeler (MP, ВНИИПО) ise atrium ve büyük hacimli mekânlar ile yangına komşu koridorlar için NFPA 92'ye yapısal olarak benzeyen plume/sıcaklık denklemlerini verir. Bu modüller, 123-FZ Teknik Reglament'e tabi projelerde (Rusya ve bazı BDT ülkeleri) zorunlu hesap yoludur.

5.3.1 Koridor Duman Tahliyesi (El Kitabı 4.91, Böl. 1.2)



Resim 12. Koridor Duman Tahliyesi (El Kitabı 4.91, Böl. 1.2) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Konut ve kamusal/endüstriyel binalarda, koridordan mekanik duman tahliyesi için gerekli kütlesel debiyi kapı genişliği ve yüksekliğine dayalı ampirik bağıntıyla verir. SP 7.13130 Md. 7 kapsamında koridor duman tahliye fanlarının boyutlandırılmasında kullanılır.

2) Sınırlamalar: Kapı yüksekliği Hd bağıntı gereği 2.0-2.5 m aralığına kırpılır; Bağıntı koridor tahliyesi içindir. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de koridor duman tahliyesi zorunlu bir hesap değildir; Birleşik Krallık — UK'de koridor duman kontrolü ADB'nin kaçış yolu havalandırması hükümleriyle…; Avrupa (AB) — AB'de doğrudan karşılığı yoktur; Rusya — SP 7.13130.2009 Md.

5.3.2 Otopark Duman Tahliyesi (El Kitabı 4.91, Böl. 2.7, Denk. 21)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Kapalı otoparklarda, duman tabakasını güvenli bir kotta tutmak için gerekli kütlesel tahliye debisini yangın çevresi ve tabaka yüksekliğine bağlı olarak verir.

2) Sınırlamalar: Yangın çevresi Pp = 4*sqrt(Ap) bağıntısı 4-12 m aralığına kırpılır; Y, tabandan duman tabakası tabanına ölçülür. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de otopark dumanı NFPA 88A / IMC havalandırma debileriyle (hacim değişimi) çözülür; Birleşik Krallık — UK'de otopark dumanı BS 7346-7'ye göre (10 ACH veya duman temizleme) tasarlanır; Avrupa (AB) — AB'de ulusal yönetmelikler (ör. Almanya M-GarVO) hacim değişim oranları verir; Rusya — El Kitabı 4.91 Denk; Türkiye — Türkiye'de BYKHY otoparklarda duman kontrolü ister.

5.3.3 Kamusal Alan Duman Tahliyesi (El Kitabı 4.91, Böl. 2.7, Denk. 21)

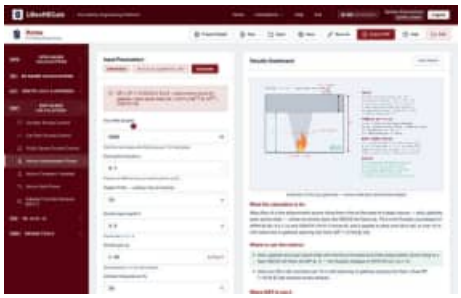
1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Kamusal/toplanma mahalleri için (fuaye, satış alanı vb.) aynı Denklem 21 yaklaşımını, mahal tipine özgü varsayılan girdilerle uygular.

2) Sınırlamalar: 5.3.2'deki Pp ve tabaka kabulü sınırlamaları aynen geçerlidir; Atrium gibi yüksek hacimlerde Denk. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de karşılık NFPA 92 hesabıdır; Birleşik Krallık — UK'de BS 9999/BRE 368 yöntemleri kullanılır; Avrupa (AB) — AB'de CEN/TR 12101-5 kullanılır; Rusya — El Kitabı 4.91 Denk.

5.3.4 Atrium Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (MP, Denk. 7)



Resim 13. Atrium Eksenel Simetrik Duman Yayılımı (MP, Denk. 7) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Galeri tipi / açık spor salonu gibi büyük hacimlerde, yangının doğrudan altında serbest yükselen eksenel simetrik duman yayılımını Rus MP metodolojisiyle modeller (NFPA 92 eksenel simetrik eşdeğeri).

2) Sınırlamalar: Balkon altından dökülen duman için Denk; Yapısal olarak yalıtılmış (kompakt) hacimlerde Denk. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 5.5.1.1e ile aynı Heskestad bağıntısıdır; Birleşik Krallık — UK karşılığı BRE 368 (Ce·P·Y^1.5) veya Heskestad'dır; Avrupa (AB) — AB karşılığı CEN/TR Annex B.3'tür; Rusya — MP к СП 7.13130.2013 Denk.

5.3.5 Atrium Kompakt / Yalıtılmış Duman Yayılımı (MP, Denk. 8)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yapısal olarak yalıtılmış atrium ve kapalı otopark gibi hacimlerde, basitleştirilmiş eksenel simetrik plume bağıntısıyla kütle debisini verir.

2) Sınırlamalar: Denk; Taşma geometrilerinde kullanılmaz. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — NFPA 5.5.1.1f ile aynı formdur; Birleşik Krallık — UK/AB'de doğrudan karşılığı alev bölgesi bağıntısıdır; Avrupa (AB) — CEN'de karşılığı yoktur (alev bölgesi ayrı ele alınmaz); Rusya — MP Denk.

5.3.6 Atrium Taşma Duman Yayılımı (Galeri Altı Yangın) (MP, Denk. 9)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Atrium tabanında bir galeri/balkon altında çıkan ve atrium hacmine dökülen duman yayılımını (taşma duman yayılımı) modeller (NFPA 92 balkon taşma eşdeğeri).

2) Sınırlamalar: Bağıntı (Qf*W)^(1/3) formundadır — NFPA 5.5.2.1b'deki (Q*W²)^(1/3)'ten farklıdır; Yüksek atriumlarda (z_b >= 15 m eşdeğeri) MP ek doğrulama vermez. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD karşılığı NFPA 5.5.2.1b'dir; Birleşik Krallık — UK karşılığı BRE 368 taşma yöntemleridir; Avrupa (AB) — AB karşılığı CEN/TR Annex E'dir; Rusya — MP Denk.

5.3.7 Yangına Komşu Koridor Tahliyesi (MP §3.2.1, Denk. 13-17)

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Yanan mahalle komşu bir koridordan, tahliye kapısı üzerinden doğrudan uzaklaştırılan yanma ürünlerinin kütlesel debisini ve gerekli hacimsel tahliyeyi, MP §3.2.1'in birebir (exact) denklemleriyle hesaplar. Model, ВНИИПО МЧС çözümlü örneğini birebir üretmektedir (Tsm ≈ 371 K, Gsm = 4.07 kg/s, V ≈ 15410 m³/saat).

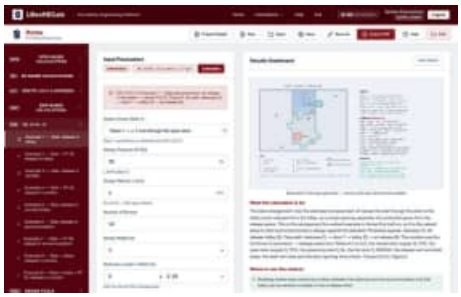
2) Sınırlamalar: Yangın tipi (ПРВ havalandırma kontrollü / ПРН yakıt kontrollü) doğru seçilmelidir; hsm sınır duman tabakası kalınlığı koridor yüksekliğinin ~0.5-0.6'sı alınmalıdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD/UK/AB'de birebir karşılığı yoktur; Birleşik Krallık — UK'de kaçış koridoru dumanı ADB havalandırma hükümleriyle ele alınır; Avrupa (AB) — AB'de CEN zinciri kullanılır; Rusya — MP §3.2.1 (Denk. 13-17) — Rusya'da yangına komşu koridor tahliyesinin zorunlu yoludur.

5.4 EN 12101-13 Modülleri (Basınç Farkı Sistemleri — PDS, Örnek 1–9)

EN 12101-13:2022 madde 5.6.3, basınç farkı sistemleri için dokuz tipik düzeni (Örnek 1–9, Şekil 5–13) tanımlar. Düzenler; hangi hacimlerin basınçlandırıldığı (yalnız merdiven / merdiven + itfaiyeci asansörü kuyusu / merdiven + lobi / üçü birden) ve basınçlandırma havasının yangın katında nereden tahliye edildiği (lobi, koridor, birleşik koridor/lobi veya konaklama) bakımından farklılaşır. Ortak hesap motoru Annex A'dır; düzen, Formül (A.17) terimlerini ve seri açıklık sayısını belirler. Yazılımda her örnek ayrı menü olarak yer alır.

5.4.0 Ortak Annex A Hesap Motoru (Tüm Örnekler)



Resim 14. Ortak Annex A Hesap Motoru (Tüm Örnekler) menüsü ekran görüntüsü

1) Neden Gereklidir / Amaç ve Kullanım Alanı

Dokuz düzenin tamamı aynı Annex A zincirini çalıştırır: Tablo A.2–A.5'ten sızıntı alanları; kapılar kapalı besleme Q_TDC; kapı açık besleme Q_TDO; yönetici debi Q_Sx; fan debisi Q_DESIGN; tahliye menfez/şaft alanları; basınç tahliye alanı A_PV; kapı açma kuvveti kontrolü. Bu alt bölüm formülleri ve ortak girdi/çıktıları bir kez verir; 5.5.1–5.4.9 9 (bu bildiride yer verilmeyen, yazılımdaki Örnek 1–9 menüleri) yalnızca düzen farkını işler.

2) Sınırlamalar: Annex A bilgilendiricidir; Tablo A.2–A.5 sızıntı alanları işçilik bağımlıdır. Ayrıntılı geçerlilik koşulları yazılımın bilgi (information) menüsünde yer alır.

3) Ülke gereklilikleri: ABD — ABD'de merdiven basınçlandırma NFPA 92 §4.4.2.1 Tablo 4.4.2.1.1 (sprinklerli 12,5 Pa; sprinklersiz 25/35/45 Pa) ve IBC §909.20 ile; Birleşik Krallık — BS EN 12101-13:2022, Birleşik Krallık'ta BS 5588-4 / EN 12101-6'nın yerini alan güncel…; Avrupa (AB) — EN 12101-13 CPR kapsamında harmonize PDS tasarım standardıdır; Rusya — Rusya'da merdiven basınçlandırması SP 7.13130 Md; Türkiye — Türkiye'de BYKHY 50 Pa tasarım basıncı ve kapı açma kuvveti sınırı ister.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Geliştirilmiş Duman Kontrol Mühendislik Hesap Yazılımındaki en önemli hesap menüleri (yirmi yedi ana modül + 10 yardımcı modül); neden gerekli oldukları, nerede kullanılıp kullanılmayacakları, ülke yasal düzenleme ve standartları gereklilikleri, formüller (tüm değişken tanım ve birimleriyle), girdi ve sonuç değişkenleri başlıklarıyla sistematik olarak irdelenmiş ve belgelenmiştir. EN 12101-13:2022 madde 5.6.3 kapsamındaki dokuz basınç farkı düzeni (Örnek 1–9) ayrı menüler olarak eklenmiş; ortak Annex A motoru ile düzen bazlı Formül (A.17) farkları ayrıntılı biçimde verilmiştir. Dört farklı ülke yasal düzenlemeleri ve standartları ailesinin aynı fiziksel olguya farklı ampirik bağıntılarla yaklaştığı; bu farklılıkların tasarım debilerinde ihmal edilemeyecek sapmalara yol açabildiği gösterilmiştir.

NFPA plume modüllerine eklenen '+ Duman tabakasının delinmesi ' varyantları, duman üretim hesabını menfez boyutlandırma ve yerleşim kontrolüyle bütünleştirir. Tüm formüllerin kaynak dokümanlara karşı doğrulanmış olması ve her hesabın izlenebilir PDF raporu üretmesi, yazılımı denetim ve onay süreçlerinde kullanılabilir kılmaktadır.

Yazılımın tüm hesap algoritmaları reel verilerle test edilerek güvenilirliği ispatlanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] NFPA 92, Standard for Smoke Control Systems, 2024 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2023.

[2] CEN/TR 12101-5:2005, Smoke and heat control systems — Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, European Committee for Standardization, Brussels, 2005.

[3] Morgan, H.P., Ghosh, B.K., Garrad, G., Pamlitschka, R., De Smedt, J.-C., Schoonbaert, L.R., Design methodologies for smoke and heat exhaust ventilation, BRE Report 368, Building Research Establishment, 1999.

[3a] BS 7346-4:2003, Components for smoke and heat control systems — Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady-state design fires — Code of practice, British Standards Institution, London, 2003.

[4] BS EN 12101-13:2022, Smoke and heat control systems — Part 13: Pressure differential systems (PDS) — Design and calculation methods, installation, acceptance testing, routine testing and maintenance, British Standards Institution, London, 2022.

[5] Пособие 4.91 к СНиП 2.04.05-91, Противодымная защита при пожаре (El Kitabı 4.91: Yangında Duman Koruması), Promstroyproekt, Moskova, 1992.

[6] СП 7.13130.2013, Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности; Методические рекомендации (МР), ВНИИПО МЧС России, Moskova, 2013.

[7] BS 9999:2017, Fire safety in the design, management and use of buildings — Code of practice, British Standards Institution, London, 2017.

[8] VDI 6019 Blatt 1/2, Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2006/2009.

[9] Klote, J.H., Milke, J.A., Turnbull, P.G., Kashef, A., Ferreira, M.J., Handbook of Smoke Control Engineering, ASHRAE, Atlanta, 2012.

[10] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th Edition, Springer, New York, 2016.

[11] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), T.C. Resmî Gazete, Ankara.

[12] International Building Code (IBC), §909 Smoke Control Systems, International Code Council, 2024.

ÖZGEÇMİŞ



Okan TOKER

Lisans eğitimini, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde 1989 yılında tamamladı, 1993 yılında yine Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecesi aldı. Çalışma hayatına 1990 yılında EMO Teknik Malzeme Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti'nde başladı. 1990-2005 yılları arasında sırası ile Sistem Uzmanı, Bina Yönetim Sistemleri, Yangından Korunma Sistemleri ve Güvenlik Sistemleri Grup Şefi, Proje Koordinatörü ve son beş yılda Yönetim Kurulu Üyesi olarak görev yaptı. 2002 Yılında ALARA Proje Mühendislik Prodüksiyon İnşaat Taahhüt Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.' ni kurdu. Kurulduğu günden günümüze Yangından Korunma, Patlamaya Karşı Koruma, Otomasyon Sistemleri konularında kırk ayrı ülkede binin üzerinde referans projede çalıştı ve çalışmaya devam etmektedir. 2023 yılında LBSoft Bilişim ve Yazılım Teknolojileri Ltd. Şti.'ni kurdu. OncoEASE Kanser Tanı ve Tedavi Platformu Geliştirme Projesi yanında Yangından Korunma konularında Duman Kontrolü, Basınçlandırma Hesapları, Hidrolik Hesaplar ve Proje Yönetimi için geliştirdiği yazılımlarla

ALARA Projelerine destek sağlamaktadır. 2024 yılında ODTÜ SEM (Sürekli Eğitim Merkezi) Bilişim Teknolojileri Sertifika Programını tamamlayarak Bilişim Teknolojileri Uzmanlık Sertifikasını aldı. TMMOB Makina Mühendisleri Odası (MMO), TS EN ISO/IEC 17024 standardı kapsamında Mühendislik Hizmetleri Yeterlilik Belgelendirme, Personel Belgelendirme Kuruluşu (PBK), Belgelendirme Program Kurulları (BPK) üyesi olarak Belgelendirme Program Kurulunda 01.11.2006 tarihinden günümüze atanmış üye olarak görev almaya devam etmektedir. MMO Ankara Şubesi Yangın Eğitim Çalışma Grubu bünyesinde Yangından Korunmada Ulusal Eğitim ve Sertifikasyon Modeli, Yangından Korunma El Kitabı Hazırlanması, Eğitim Programı ve Sertifikasyon Sisteminin Oluşturulması konularında çalışmalar yürütmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Üyelik ve Sertifikalar

NFPA – CFPS Certified Fire Protection Specialist (Certificate # 3890)

NFPA-National Fire Protection Association (USA) (NFPA ID: 2479902)

SFPE- Society of Fire Protection Engineers (USA) (SFPE ID: 112522) Professional Member

CompEx- Ex01- Ex04 Certificate of Core Competence (Certificate # 50198)

CompEx- Ex12A-12B Certificate of Core Competence (Certificate # 00474ADE)

ODTÜ-SEM- IT Specialist

ASIS – American Society of Industrial Security (USA)

ASIS Turkish Chapter-American Society of Industrial Security Turkish Chapter

TTMD – Turk Tesisat Muhendisleri Dernegi (Society of Sanitary Engineers of Turkey)

TUYAK Vakfi – Türkiye Yangindan Korunma Vakfi (Turkish Fire Protection Association)

TÜYAK Dernegi – Türkiye Yangindan Korunma Dernegi (Society of Fire Protection of Turkey)

TMMOB – Fire Protection Specialist (YT 0163)

Landmark Forum/Landmark Advanced Course

YANICI VE PARLAYICI SIVILARIN BULUNDURULDUĞU ENDÜSTRİYEL TESİSLER VE DEPO BİNALARINDA ALINACAK YANGIN TEDBİRLERİNE ULUSLARARASI STANDARTLAR ÇERÇEVESİNDE BAKIŞ

Taner KABOĞLU

ÖZET

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in 8. Kısmının 4. Bölümünde yanıcı ve parlayıcı sıvıların üretildiği, kullanıldığı ve depolandığı binalarda alınacak yangın tedbirleri verilmektedir. Toplam 11 maddeden oluşan bu bölümde yer alan hükümler, özellikle yanıcı parlayıcı maddelerin üretildiği veya üretimde hammadde olarak kullanıldığı endüstriyel tesislerde alınacak tedbirlerin belirlenmesi konusunda ciddi kafa karışıklığına yol açmaktadır. Esasen büyük çoğunluğu uluslararası standartlardan alınan bu hükümler, kullanıcılar tarafından tam anlaşılamamakta veya yanlış anlaşılmaktadır. Bunun kök nedeni, hükümlerin alındığı standartlardaki ilave hükümlerin ve açıklamaların bu bölümde yer almaması olarak tarif edilebilir.

Bu çalışmada, başta Amerikan Yangından Korunma Birliği NFPA tarafından yayınlanan NFPA 30 standardı olmak üzere, uluslararası standartlar incelenerek, adı geçen endüstriyel tesisler ve depo binalarında alınacak tedbirler konusunda daha doğru yaklaşımlara mercek tutulacaktır.

Anahtar sözcükler: Yanıcı ve parlayıcı sıvılar, endüstriyel tesis, standart, NFPA 30

AN OVERVIEW OF FIRE SAFETY MEASURES TO BE TAKEN IN INDUSTRIAL FACILITIES AND WAREHOUSE BUILDINGS CONTAINING FLAMMABLE AND COMBUSTIBLE LIQUIDS, WITHIN THE FRAMEWORK OF INTERNATIONAL STANDARDS

Taner KABOĞLU

ABSTRACT

Section 4 of Part 8 of the Regulation on Fire Protection of Buildings outlines fire safety measures to be taken in buildings where flammable and combustible liquids are produced, used, and stored. The provisions in this section, consisting of 11 articles, cause significant confusion, particularly regarding the determination of measures to be taken in industrial facilities where flammable and combustible materials are produced or used as raw materials in production. Essentially, these provisions, largely derived from international standards, are not fully understood or are misinterpreted by users. The root cause of this can be attributed to the absence of additional provisions and explanations from the standards from which these provisions are taken.

This study will examine international standards, primarily NFPA 30 published by the American Fire Protection Association (NFPA), to focus on more accurate approaches to safety measures in the aforementioned industrial facilities and storage buildings.

Keywords: Flammable and combustible liquids, industrial facility, standard, NFPA 30

1. GİRİŞ

Yanıcı ve parlayıcı sıvılar günümüzde neredeyse her türlü binada kullanılmaktadır. Temizlik maddeleri ve dezenfektanların bulundurulmadığı bina yok gibidir. Bir yangın anında yanıcı parlayıcı sıvıların yanıcılık özellikleri kadar, miktarları ve ambalaj şekilleri de etken rol oynamaktadır. Yanıcı parlayıcı sıvılar yangının çok hızlı yayılmasına neden olur. Miktarın sınırlı olduğu yangınlarda yanıcı sıvının hızla yanarak tükenmesinden sonra yangın, çevredeki diğer yanıcılar vasıtasıyla devam eder. Dolayısıyla yanıcı sıvı miktarının sınırlı olduğu yerlerde tedbirlerin yanıcı sıvılara göre değil, çevredeki koşullara göre alınması yeterli olacaktır.

Bu çalışmada uluslararası standartlara atıf yapılırken, Amerikan Yangından Korunma Birliği (NFPA-National Fire Protection Association) tarafından yayınlanan NFPA 30 – Yanıcı ve Parlayıcı Sıvılar Kodu'ndan yararlanılmıştır. Özellikle yangınla mücadele konusunda çok ayrıntılı bilgiler bulunan NFPA 30 kodu, dünyanın gelişmiş ülkelerinin çoğunda referans olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Konuyla ilgili uzmanlar çoğunlukla bu koda başvurmaktadır. Başka ülkelerin kodlarında da yanıcı parlayıcı sıvılarla ilgili bölümler bulunmaktadır. Avrupa'da EN 13565-2 standardı bulunmaktadır. Yine Amerika'da FM (Factury Mutual) kurumunun yayınladığı FM DS 7-29 ve 7-32 kodları da kullanılmaktadır.

Uluslararası standartlara bakıldığında; yanıcı sıvıların yanma özellikleri, depolama miktarları ve otomatik söndürme sistemleri arasında bağlantı kurulduğu görülmektedir. Özellikle parlama sıcaklığı 93°C'nin üzerinde olan yani IIIB sınıfına giren yanıcı sıvı yangılarının, yayılma hızı ve açığa çıkan enerji açısından katı madde yangınlarına çok önemli benzerlikler gösterdiği, dolayısıyla yangınla mücadele açısından benzer yöntemlerin kullanılabildiği görülmektedir.

Yine uluslararası standartlara bakıldığında; sıvı yangınlarında her ne olursa olsun söndürücü akışkan olarak köpük, gaz veya benzeri alternatif ajanlar kullanılması gerektiği, suyun bu tür yangınlarda yeterli olmayacağı görüşünün çok da doğru olmadığı görülmektedir. Amerikan NFPA standartları, özellikle endüstriyel tesisler için çok gelişmiş söndürme yöntemleri öneren FM kodları ve hatta Türk standardı olarak da kullanılan Avrupa standartlarında, belirli şartlarda yanıcı sıvı yangınlarıyla su kullanılarak mücadele edilebileceği anlatılmaktadır. Tüm gelişmiş ülkelerde, otomatik yağmurlama sistemleri yanıcısı sıvı yangınlarıyla mücadele için belirli şartlar altında kullanılmaktadır.

Çalışmada NFPA 30'dan alınan tablolarda bulunan ifadelerin bazıları Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'teki (Bundan sonra kısaca "yönetmelik" olarak anılacaktır.) ifadelerle uyumlu olması açısından değiştirilmiş. Bazı değerler de düz sayılara yuvarlanmıştır. Örneğin tehlike sınıflarıyla ilgili kodun 9.8.1 tablosundaki orijinal metninde orta tehlike 2 sınıfı kullanılmışken, bildirideki Tablo 4'te bu orta tehlike 3'e çevrilmiştir. Çünkü NFPA standardında orta tehlike sınıfı 2 gruba ayrılmışken, yönetmelikte 4 gruba ayrılmıştır ve detaylara bakıldığında NFPA'daki orta tehlike 2 sınıfı yönetmelikteki orta tehlike sınıfı 3 ve 4'e karşılık gelmektedir.

2. KAPSAM

Yönetmeliğin 123.maddesinde, 8.kısmın 4.bölümündeki hükümlerin, aşağıda verilen hallerde uygulanmayacağı ifade edilmektedir:

a) Herhangi bir ticari veya endüstriyel faaliyet için yapılmayan, ısıtma merkezi kazan daireleri ve yakıt depoları gibi depolama ve doldurma işleri hakkında,

b) Araç depoları, yer değiştirebilen tesisler ve 300 litreye kadar depo hacmi olan sabit tesisler ile söz konusu araç ve tesislerin ayrılmaz parçası olan yakıt kapları hakkında,

c) İşletmelerde, herhangi bir yanıcı sıvının, üretimde işlenmesi veya ürün veya ara ürün olarak kısa süre için depolanması hâlinde,

ç) Otomatik algılama ve söndürme sistemi bulunan alışveriş merkezlerinin satış alanlarında, her biri en fazla 5 litrelik orijinal kabında saklanan yanıcı sıvılar ile en fazla 1 litrelik orijinal kabındaki aerosoller için,

Burada altı çizili olan ç bendi, yönetmelikte yer almamaktadır. Yönetmeliğin revizyonu çalışmaları sırasında öneri olarak ortaya çıkartılmıştır. Yönetmelik metnine girip girmeyeceği, bu çalışmanın yapıldığı tarihte kesinlik kazanmamıştır.

NFPA 30 kodu kendi yetki alanının dışında kalanları şöyle listelemiştir:

- Erime sıcaklığı 37,8°C'nin üzerinde olan sıvılar,
- Kriyojenik (aşırı düşük sıcaklıkta sıvılaştırılmış) sıvılar ve sıvılaştırılmış gazlar,
- Parlama noktası olmayan sıvılar,
- Aerosoller,
- Alkol bazlı el dezenfektanları (sınırlı miktarda),
- Motorlu araçların yakıt tankları,
- Parlama noktası 35°C'nin altında olup suyla karışan ve karışımdaki oranı %20'nin altında olan sıvılar

El dezenfektanlarıyla ilgili sınırlamalar şu şekilde tarif edilir:

- Genel kullanıma açık (hol, koridor, vb.) yerlerde bir kapta en fazla 2 litre,
- Ayrı kapalı odalarda bir kapta en fazla 4 litre,
- Bir katta ya da yangın kompartımanında en fazla 37,8 litre,

Görüldüğü gibi yönetmelikle NFPA 30 arasında benzerlikler (motorlu araç yakıt tankları) olduğu gibi, farklılıklar da bulunmaktadır. Özellikle el dezenfektanlarıyla ilgili sınırlamalar yönetmeliğe eklenebilir.

Suyla karışabilen sıvılarda, karışım içindeki yanıcı sıvı oranının %20'den az olması, karışımın yanıcı özelliği göstermemesini sağlamaktadır. Dolayısıyla bu tür ürünler, içinde az da olsa yanıcı sıvı var diye bu bölüm kapsamında değerlendirilmemelidir. Bu %20 oranının özellikle dile getirilmesi, karışımların ne zaman bölüm kapsamında değerlendirileceğine ışık tutacaktır.

3. YANICI VE PARLAYICI SIVILARIN AZAMİ DEPOLAMA MİKTARLARI

Yanıcı ve parlayıcı sıvıların binalarda bulundurulacak azami (maksimum) miktarları binanın kullanım sınıfına göre değişkenlik göstermektedir. Yönetmelikte, esas fonksiyonu bu sıvıların kullanılması olmayan yerlerde, perakende satış yerlerinde ve depo binalarında bulundurulacak miktarlarla ilgili sınırlamalar tanımlanmıştır. Esas işi yanıcı parlayıcı sıvıların kullanılması olan binalarda ise herhangi bir sınırlama tarif edilmemiştir.

Uluslararası standartlar da incelendiğinde, yanıcı parlayıcı sıvıların esas öge olarak bulundurulduğu, kullanıldığı veya üretildiği tesislerle ilgili miktar sınırlamalarına rastlanmamaktadır. Hatta depolama tanklarıyla ilgili sınırlamalar tarif edilirken, proses tanklarının bu sınırlamalara tabi olmadığı özellikle belirtilmektedir.

3.1. TALİ DERECEDE İŞLEM YAPILAN BİNALAR

Yönetmeliğin 115.maddesinin 2.fıkrasında depolama miktarları sınırlarıyla ilgili aşağıdaki ifadeler yer almaktadır.

*(2) Diğer kullanım alanlarından yangına en az 90 dakika dayanıklı duvar ve döşemeler ile ayırılan ve **tali derecedeki işlemler yürütülen binalarda**, depolama odasında veya 200 °C'de 10 dakika yangına dayanıklı dolap içerisinde;*

a) Sınıf IA sıvılar 100 litre orijinal kabında,

b) Sınıf IB, Sınıf IC, Sınıf II ve Sınıf IIIA sıvılar, toplam 500 litre orijinal kabında,

c) Sınıf IB, Sınıf IC, Sınıf II ve Sınıf IIIA sıvılar, toplam 2.500 litre taşınabilir tanklarda,

depolanabilir.

Bu fıkradaki "tali derecedeki işlemler yürütülen binalar" ifadesi önemlidir. Burada kastedilen, esas işi yanıcı parlayışı sıvı üretmek, kullanmak veya depolamak olmayan binalardır.

Uluslararası standartlara bakıldığında da yanıcı sıvıların depolama miktarlarıyla ilgili benzer sınırlamalar olduğu görülmektedir. Bu sınırlamalar ürünün yanıcılık sınıfının yanı sıra, içinde bulundurulduğu kabın büyüklüğü ve kap malzemesiyle de ilişkilendirilmiştir. NFPA 30'da izin verilen maksimum miktar - İVMM (Maximum Allowable Quantity – MAQ) kavramı bulunmaktadır. Koddaki sınırlandırmalar Tablo 1'de görülebilir.

Tablo 1: NFPA 30:2027 Tablo 9.7.1

Depolardaki Tutuşturulabilir (Parlayıcı veya Yanıcı) Sıvıların Kontrol Alanı Başına En fazla Depolama Miktarları (İVMM)		
Sıvı Tehlike Sınıfı[a]	**Kap Büyüklüğü/Tipi**	**Miktar (l)**
IA[b,c]	9.5.3'e uygun	115
IB and IC[b,c,d,g]	9.5.3'e uygun	460
IA, IB, IC combined[b,c,e]	9.5.3'e uygun	460
II[b,c]	9.5.3'e uygun	460
IIIA[b,c]	9.5.3'e uygun	1.265
IIIB[b,c,f]	≤ 25 l/metal olmayan	3.800
	> 25 l/metal olmayan	2.300
	Metal	50.600

[a] Sınıflandırma 4.2 maddesinde verildiği gibidir.

[b] Miktarlar, ilgili yangın yönetmeliğine uygun olarak onaylı yangına dayanıklı sıvı depolama dolaplarında veya güvenlik bidonlarında saklandığında %100 oranında artırılabilir. c ve d dipnotlarının da geçerli olduğu durumlarda, b, c ve d dipnotlarındaki artışlar kümülatif olarak uygulanabilir.

[c] Miktarlar, ilgili standarda uygun olarak tasarlanmış ve kurulmuş otomatik yağmurlama sistemleriyle donatılmış binalarda %100 oranında artırılabilir. b dipnotunun da geçerli olduğu durumlarda, b, c ve d dipnotlarındaki artışlar kümülatif olarak uygulanabilir.

[d] Sınıf IB veya Sınıf IC sıvıların miktarları, su içinde hacimce %50'ye kadar etanol içeren ve 5 L'ye kadar olan kaplarda bulunan içecekler, ilaçlar, gıda maddeleri, kozmetikler ve diğer tüketici ürünleri için %100 oranında artırılabilir. Dipnot b ve c'nin de geçerli olduğu durumlarda, dipnot b, c ve d'deki artışlar kümülatif olarak uygulanabilir.

[e] Sınıf IA, Sınıf IB veya Sınıf IC sıvıların, her bir kontrol alanı için izin verilen maksimum miktardan fazla içermemesi şartıyla.

[f] İlgili standarda uygun olarak kurulmuş ve tasarlanmış otomatik sulu veya köpüklü yağmurlama sistemiyle donatılmış bir binada miktar sınırlaması yoktur.

[g] Sağlık tesislerinde, alkol bazlı el dezenfektanı miktarı, 5 litreyi aşmayan kaplarda saklanması ve odanın veya alanın ilgili standarda uygun olarak tasarlanmış ve kurulmuş otomatik yağmurlama sistemiyle donatılmış olması koşuluyla 2300 litre ile sınırlıdır.

Tablonun dipnotlarına bakıldığında, [a] notunda adı geçen kodun 4.2 maddesinde sıvıların yanıcılık sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma, yönetmeliğin 113.maddesindeki sınıflandırmayla birebir aynıdır. Diğer notlarda ise binada sprinkler sistemi bulunması, sıvıların yangına dayanıklı kabinlerde saklanması, suyla karışan sıvılarda alkol oranının %50'nin altında olması gibi etkenlerin depolanabilecek miktar sınırlarını artırıldığı görülmektedir. Benzer uygulama bizim yönetmeliğimizde de kullanılabilir.

Tabloda adı geçen 9.5.3 tablosu sıvıların yanıcılık sınıfı ve kap malzemesine göre 1 kabın izin verilen en büyük hacmini vermektedir.

Tablo 2: NFPA 30:2027 Tablo 9.5.3

Kapların izin verilen en büyük hacmi (litre)					
Kap Tipi	**Sınıf IA[a]**	**Sınıf IB[a]**	**Sınıf IC[a]**	**Sınıf II[a]**	**Sınıf IIIA[a]**
Cam	0.5	1	5	5	20
Metal (variller hariç) veya onaylı plastik	5	25	25	25	25
Güvenlikli bidon	10	20	20	20	20
Metal varil (örneğin, UN 1A1/1A2)	450	450	450	450	450
Onaylı metal taşınabilir tanklar ve IBCler	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Rijit plastik IBCler (UN 31H1 or 31H2) ve kompozit, rijit destekli IBCler (UN31HZ1)[c]	NP	NP	NP	3.000	3.000
Kompozit esnek destekli IBCler (UN31HZ2), DOT/UN-onaylı esnek IBCler ve NMFC/ISTA'ya uygun IBCler c	NP	NP	NP	1.300	1.300
Kutu İçinde Torba	NP	NP	NP	NP	NP
Polietilen UN1H1 ve UN1H2, veya DOT onaylı özel kaplar	5	20	20	450	450
Fiber variller, NMFC veya UFC Tip 2A; Tip 3A, 3B-H, veya 3B-L; veya Tip 4	NP	NP	NP	450	450

NP: İzin verilmez.

[a] Sınıflandırma 4.2 maddesinde verildiği gibidir..

[b] Sınıf IB ve Sınıf IC suyla karışabilen sıvılar, Tablo 16.5.3.7'ye uygun şekilde saklanıp korunmaları koşuluyla, 230 litreye kadar olan plastik kaplarda saklanabilir.

[c] Tablo 9.5.3'te izin verilen metal olmayan IBCler, UL 2368 (Yanıcı ve Tutuşabilir Sıvılar İçin IBClerin Yangına Maruz Kalma Testi), FM 6020 (Kompozit IBCrler İçin Onay Standardı) veya eşdeğer bir test prosedürüne uygun olarak listelenmeli ve etiketlenmelidir.

Miktarlarla birlikte kullanılan bir de kontrol bölgesi tanımı bulunmaktadır. Kontrol bölgesi (alanı), binanın tamamını veya bir bölümünü temsil eder. Aynı standart, kontrol bölgelerinin birbirleriyle ilişkisini de tarif eder. Tablo 3'te binanın hangi katında kaç kontrol bölgesi olabileceği, her kontrol bölgesinde İVMM'nin ne kadarının bulundurulabileceği ve kontrol bölgelerinin birbirlerinden kaç saat dayanıklı yapı elemanlarıyla ayrılabileceği verilmiştir.

Tablo 3: NFPA 30:2027 Tablo 9.8.1

Kat Seviyesi	Kontrol Bölgesi Başına İVMM (%)[a]	Kat Başına Kontrol Alanı Sayısı	Kompartıman Yangın Dayanım Süresi[b] (saat)
Yer Üstü Katlar			
> 8.Kat	5	1	2
6-8.Katlar	5	2	2
3-5.Katlar	12,5	2	2
2.Kat	50	2	1
1.Kat	75	3	1
Zemin Kat	100	4	1
Bodrum Katlar			
1.Bodrum Kat	75[c]	3	1
2.Bodrum Kat	50[c]	2	1
2.Bodrum Kat Altı	İV	İV	U

İV: İzin verilmez. U: Uygulanamaz.

[a] Yüzdeler, Tablo 9.7.1'de gösterilen kontrol alanı başına geçerli İVMM'yi ve bu tablonun dipnotlarında izin verilen tüm artışları temsil eder.

[b] Yangın bariyerlerinin, diğer kontrol alanlarından tam bir ayrım sağlamak için gerektiği gibi zemin ve duvarları içermesi gerekir.

[c] Bkz. Madde 9.8.4 ila madde 9.8.6.

Tablo 3'ün [c] dipnotunda adı geçen standart maddeleri bodrum katlarda Sınıf IA sıvıların depolanamayacağı, Sınıf IB, IC, II ve IIIA sıvıların en fazlan 20 litrelik kaplarda, tabloda belirtilen miktarlarda depolanacağını anlatmaktadır. Sınıf IIIC'ye giren sıvılar ise kaplarla ilgili bir sınırlama olmadan depolanabilmektedir.

Bu genel sınırlandırma kurallarına ek olarak, yanıcı parlayıcı sıvıların değişik kullanım amacına sahip binalarda depolanmasıyla ilgili kurallar da bulunmaktadır.

Sonuç olarak yönetmelikte verilen miktar sınırlamaları, NFPA 30 standardının 9.7.1 tablosundaki değerlerle benzerlikler göstermektedir. Bir nevi, bu tablonun sadeleştirmiş hali olarak da düşünülebilir. Fakat NFPA standardı, başka koşullara bağlı olarak bu miktarların artırılması tarif etmekte, nasıl arttırılabileceğini ayrıntılı olarak vermektedir.

3.2. PERAKENDE SATIŞ YERLERİ

Yönetmeliğin 115.maddesinin 3. fıkrası perakende satış yerleriyle ilgili sınırlamaları vermektedir:

(3) Diğer kullanım alanlarından yangına en az 90 dakika dayanıklı duvar ve döşemeler ile ayrılan perakende satış yerlerinde yanıcı ve parlayıcı sıvılar, 200 °C'de 10 dakika yangına dayanıklı kabin ve orijinal ambalaj içinde aşağıda belirtilen miktarları aşmamak şartıyla, beher m^2 taban alanı için 5 litre bulundurulabilir.

a) Sınıf IA sıvılar, en fazla 100 litre,

b) Sınıf IB, Sınıf IC, Sınıf II ve Sınıf IIIA sıvılar, toplam kapasite miktarı orijinal kaplarında en fazla 1000 litre,

c) Sınıf IIIB sıvılar, en fazla 2.500 litre,

bulundurulabilir.

Perakende satış yerlerinde yanıcı ve parlayıcı sıvıların bulundurulması için NFPA 30 standardında da kurallar bulunmaktadır. Burada sıvıların yanıcılık sınıfları, bulunduruldukları kapların hacmi, suyla karışan yanıcı sıvılarda karışım oranları gibi kriterlere göre farklı sınırlar verilmiştir. Tablo 4'te detaylar görülebilir.

Tablo 4: NFPA 30:2027 Tablo 10.7.1

Perakende Satış Yerlerindeki Depo ve Teşhir Alanları İçin İVMM'ler				
Koruma Seviyesi	**Depolama Sınırı**	**Sıvı yanıcılık sınıflandırması[a]**		
		IA[b]	**IB, IC, II, ve IIIA — Herhangi bir kombinasyon[c]**	**IIIB**
Yağmurlama sistemi yok veya OH3'ten düşük[d]	İVMM[e]	250 l	Kontrol alanı başına 15 ton; 1 binada 1 saat dayanıklı duvarlarla ayrılmış en fazla 2 kontrol alanı	60 ton
	En fazla depolama yoğunluğu		Depo, teşhir alanı ve bağlantılı koridorlarda 100 l/m^2	
Yağmurlama sistemi var (OH3 ve üstü)[d]	İVMM[e]	500 l	Kontrol alanı başına 30 ton; 1 binada, 1 saat dayanıklı duvarlarla ayrılmış en fazla 2 kontrol alanı	120 ton
	En fazla depolama yoğunluğu		Depo, teşhir alanı ve bağlantılı koridorlarda 200 l/m^2	
NFPA 30'a uygun sulu veya köpüklü yağmurlama sistemi var	İVMM[e]	500 l	Bina başına 120 ton	Sınırsız

[a] Sınıflandırma 4.2 maddesinde verildiği gibidir.

[b] Sadece Zemin Katta.

[c] Hacimce %50'ye kadar etanol içeren, suyla karışabilen ve 5 litre kapasiteye kadar kaplarda bulunan içecek, ilaç, gıda maddesi, kozmetik ve diğer tüketici ürünleri söz konusu olduğunda, Sınıf IB veya Sınıf IC [Parlama Noktası < 100°F (37,8°C) / Kaynama Noktası ≥ 100°F (37,8°C)] sıvıların miktarlarının %100 oranında artırılmasına izin verilir.

[d] 3.6 m'yi aşmayan depolama yükseklikleri için.

[e] Hacimce yüzde 20'den az oranda suyla karışabilen yanıcı parlayıcı sıvılar içeren; geri kalan kısmı ise yanmayan bileşenlerden oluşan içecekler, ilaçlar, gıda maddeleri, kozmetikler ve diğer tüketici ürünlerinde sınırlama yoktur.

4. DEPO BİNASI İÇİNDE DEPOLAMA KURALLARI

4.1. BİNANIN ÖZELLİKLERİ

Yönetmeliğin 118.maddesinin 1.fıkrasında "Sınıf I parlayıcı sıvıların depolandığı binaların bodrum katının bulunmaması gerekir." ifadesi yer almaktadır. Bu hüküm, uygulamada büyük güçlüklere neden olmaktadır.

NFPA 30 standardına bakıldığında, sadece Sınıf IA sıvıların borum katta depolanmasına izin verilmez. Sınıf IB, IC, II ve IIIA sıvıların en fazla 20 litrelik kaplarda bulundurulması şartıyla bodrum katlarda depolanmasına -ilave şartları da sağlamak kaydıyla- izin verilmektedir. Bizim yönetmeliğimizde Sınıf I'e giren sıvıların hepsinin bodrum katlarda depolanmasına izin verilmeyebilir. Ancak bunların depolandığı binaların bodrum katının hiç olmaması, konuyu uygulanabilir olmaktan çıkartmaktadır.

Ülkemizdeki imar kanunun yapısı nedeniyle, binalar yapılabilirken mümkün olan en üst kat zemin kat olarak tanımlanmaktadır. Özellikle kot farkından dolayı yangın güvenliği açısından bodrum kat olarak değerlendirilmeyebilecek katlar bodrum kat sıfatındadır. Yeni kurulmakta olan ihtisas sanayi bölgelerinde dahi böyle pek çok endüstriyel tesis bulunmaktadır. Sınıf I sıvıların depolandığı binaların bodrum katı olamaz hükmü, bu tür binaları kullanılamaz hale getirmektedir. Konunun uluslararası standartlarda da karşılığı bulunduğuna göre, bodrum katı olan binalarda Sınıf I parlayıcı sıvıların depolanmasına belirli şartlarda izin verilmelidir. Şartların nasıl olacağı da, bu çalışmada detayları verilen NFPA 30 kuralları esas alınarak belirlenebilir.

4.2. BİNANIN YANGINA DAYANIMI

Yönetmeliğin 118.maddesinni 1.fıkrasında yanıcı sıvıların depolandığı binaların hiçbir koşula bağlı olmaksızın yangına 120 dakika dayanıklı olması gerektiği yazılıdır. NFPA 30 standardı ise binanın yangın dayanımını, iç duvarlar, dış duvarlar ve çatılar için ayrı ayrı vermiş, ayrıca süreleri söndürme sistemlerine, çevre binalar ve komşu parsel sınırına mesafelere bağlamıştır. Tablo 5'te ilgili tablo görülebilir.

Tablo 5: NFPA 30:2027 Tablo 12.10.1

Yangın Dayanımı Derecesi Tablosu			
Depolama Alanı Türü	**İç Duvarlar, Tavanlar, Ara Katlar[a] (saat)**	**Çatılar (saat)**	**Dış Duvarlar (saat)**
Sıvı Depolama Odası			
Taban alanı ≤15 m²	1	GD	GD
Taban alanı > 15 m², ancak ≤ 100 m²	2	GD	GD
Sıvı Deposu (Antrepo)	4[b]	GD	4[c]

GD: Gerekli değil

[a] Bir sıvı depolama odası veya sıvı deposu ile sıvı depolamaya ayrılmamış bitişik alanlar arasında.

[b] Aşağıdaki durumlardan birinin geçerli olduğu haller haricinde, 4 saatlik bir yangın duvarı gereklidir:

(1) Bir sıvı deposundaki sıvı depolama işleminin, parlama noktalarının üzerine ısıtılmayan Sınıf IIIB sıvılarla sınırlandırıldığı durumlarda, 2 saatlik yangın duvarlarına veya yangın bariyerlerine izin verilir.

(2) Bir sıvı deposunun ilgili standarda uygun sulu veya köpüklü yağmurlama sistemiyle korunduğu durumlarda, 2 saatlik yangın duvarlarına veya yangın bariyerlerine izin verilir.

(3) Bir sıvı deposunun ilgili standarda uygun sulu veya köpüklü yağmurlama sistemiyle korunduğu durumlarda; ofisler ve tuvaletler gibi, toplam alanı sıvı deposu alanının yüzde 10'undan az olan yardımcı kullanım alanlarının iç duvarları ve tavanları için yangın dayanım derecesi şartı aranmaz.

(4) Bir sıvı deposunda 6.12.5'e uygun bir tutuşabilir sıvı drenaj zemin sistemi (ILDFA) kullanıldığı durumlarda, 2 saatlik yangın duvarlarına veya yangın bariyerlerine izin verilir.

[c] Aşağıdaki durumlardan birinin geçerli olduğu haller haricinde, dış duvarlar için 4 saatlik yangın dayanım derecesi gereklidir:

(1) Önemli bir binadan veya üzerine yapı inşa edilebilecek bitişik parsel sınırından 3 m'den fazla ancak 15 m'den az mesafede bulunan duvarlar için 2 saatlik yangın dayanım süresine izin verilir.

(2) Önemli bir binadan veya üzerine yapı inşa edilebilecek bitişik parsel sınırından 15 m veya daha fazla mesafede bulunan duvarlar için yangın dayanımı gerekmez.

(3) Madde 6.12.5 uyarınca bir ILDFA (tutuşabilir sıvı drenaj zemin sistemi) sağlandığı durumlarda, 2 saatlik yangın dayanım süresine izin verilir.

[d] Bir sıvı depolama odası veya sıvı deposunda Madde 6.12.5 uyarınca bir ILDFA kullanılması durumunda, 1 saatlik yangın bariyerlerine izin verilir.

118.maddenin 8.fıkrasında kapıların yangına 120 dakika dayanıklı olması gerektiği yazmaktadır. Yani yangına iki saat dayanan duvarların üzerindeki kapıların da yangına 2 saat dayanması talep edilmektedir. Bu, yönetmeliğin 25 ve 47.maddeleriyle çelişmektedir. Bu maddelerden 60 dakika ve 90 dakika dayanım sürelerine ulaşılır. Uluslararası standartlara bakıldığında da kapı dayanım sürelerinin duvarların dayanım sürelerinden daha düşük tarif edildiği görülmektedir.

4.3. DEPOLAMA MİKTARI SINIRLARI

Depo binalarında depolanacak miktarlarla ilgili yönetmelik sınırlamaları aşağıdaki gibidir:

(2) Bir kapalı hacimde beher yığında Ek-12/A'da belirtilen değerleri aşmamak kaydıyla, en fazla 5 ayrı yığın oluşturarak, her bir yığının birbirlerine olan mesafesi 3 m olmak üzere parlayıcı sıvı depolanabilir. Aynı hacimde çeşitli tehlike sınıflarına giren sıvılar birlikte depolanıyor ise, toplam depolanacak miktar, en yüksek tehlike sınıfına göre alınır ve;

a) Sınıf IA + Sınıf IB/2

b) Sınıf IA + Sınıf IC/4

c) Sınıf IA + Sınıf II/12

ç) Sınıf IA + Sınıf IIIA/40

d) Sınıf IA + Sınıf IIIB/80

şeklinde depolanır. Sınıf IA cinsinden depolanan toplam sıvı miktarı, 12.500 litreyi geçemez.

Ek 12/A tablosu aşağıda verilmiştir.

Tablo 6: Yönetmelik Ek-12/A Tablosu - Yanıcı ve Parlayıcı Sıvıların Depo Binası İçinde Depolanması

Yanıcı ve parlayıcı sıvı sınıfı	Orijinal depolama kaplarında toplam miktar	Taşınabilir depolama tanklarında toplam miktar
	Toplam kap hacmi (litre)	Toplam tank hacmi (litre)
IA	2,500	-
IB	5,000	7,500
IC	10,000	5,000
II	30,000	40,000
IIIA	100,000	150,000
IIIB	200,000	300,000

Bu sınırlar herhangi bir şarta bağlanmamıştır. Binada yangın korunum sistemi bulunması sınırları değiştirmemektedir. Oysa NFPA 30 standardı, uygun sulu veya köpüklü yağmurlama sistemiyle korunan depo binalarında herhangi bir miktar sınırlaması olmayacağını söylemektedir. Yağmurlama sistemi olmayan binalardaki sınırlamayı ise Tablo 7'deki gibi vermiştir.

Tablo 7: NFPA 30:2027 Tablo 12.7.7.2

Sulu veya Köpüklü Yağmurlama Sistemiyle Korunmayan Sıvı Depo Binalarında Miktar Sınırlaması									
	Konteynerler (Şişe, bidon, varil, vb)			Metal Taşınabilir Tanklar ve Metal IBCler			Metal olmayan rijit ve Kompozit IBCler		
Yanıcılık sınıfı	Azami Depolama Yüksekliği (m)	Bir Rafta ya da Bölümde bulunacak azami miktar (l)	Toplam Azami Miktar (l)	Azami Depolama Yüksekliği (m)	Bir Rafta ya da Bölümde bulunacak azami miktar (l)	Toplam Azami Miktar (l)	Azami Depolama Yüksekliği (m)	Bir Rafta ya da Bölümde bulunacak azami miktar (l)	Toplam Azami Miktar (l)
IA	1,5	2.500	2.500	NP	NP	NP	NP	NP	NP
IB	1,5	5.000	5.000	2	7.500	7.500	NP	NP	NP
IC	1,5	10.000	10.000	2	15.000	15.000	NP	NP	NP
II	3	15.000	30.000	2	20.000	40.000	2	15.000	30.000
IIIA	3	50.000	100.000	2	85.000	170.000	2	50.000	100.000
IIIB	3	50.000	200.000	2	85.000	340.000	2	50.000	200.000

Görüldüğü gibi sadece yanıcılık sınıfı değil, depolama yükseklikleri, kap türleri ve bir rafta bulundurulacak miktar gibi farklı kriterler de göz önünde tutulmaktadır.

Yönetmelik ve NFPA tabloları karşılaştırıldığında miktarların benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yani NFPA'in yangın söndürme sistemleri olmayan binalar için verdiği değerler, yönetmelikte tüm binalar için verilmiştir. NFPA yağmurlama sistemi olduğunda sınırı tamamen ortadan kaldırmaktadır. Yönetmelikte de yağmurlama sistemi olan binalarda miktar sınırlarının kaldırılması, bu hemen yapılmayacaksa bile en azından artırılması düşünülebilir.

4.4. DEPO TEHLİKE BÖLGELERİ

Yönetmeliğin 118.maddesinin 4. fıkrasında yanıcı ve parlayıcı sıvı depolarının başka hiçbir koşula bakılmaksızın 1.Tehlike bölgesi olarak kabul edilmesi gerektiği yazılıdır. Bu tanımlamanın tam olarak doğru kabul edilemeyeceği aslında konuyla ilişkili tüm taraflar tarafından kabul edilmektedir. Aynı yönetmeliğin 116. maddesinin 1.fıkrasının b bendinde 1.Tehlike bölgesi şu şekilde tanımlanmaktadır:

"b) 1. Bölge: Patlayıcı gaz-hava karışımının normal çalışma sırasında oluşma ihtimalinin olduğu dolum borusu civarı ve armatürler gibi bölgelerdir."

Tamamen kapalı kapların depolandığı bir depolama alanında normal çalışma sırasında patlayıcı gaz-hava karışımı oluşturacak boru veya armatür olmayacağına göre, tüm yanıcı parlayıcı sıvı depolarının 1.Tehlike bölgesi olarak tanımlanması doğru değildir.

Burada önerimiz; depoların tehlike bölgelerinin, uzman kişiler tarafından ilgili yönetmelik ve standartlara uygun olarak hazırlanacak patlamadan korunma dokümanları hazırlanarak belirlenmesidir. Bu yöntemle teknik bir çalışmaya dayandırılarak gereksiz yere milli servetin israf edilmesinin önüne geçilmiş olacaktır.

5. AÇIKTA YERÜSTÜ DEPOLAMA

5.1. TANK YERLEŞİMİ

Açıkta kurulan yerüstü tanklarının meskun yerlerden ve kara ve demir yollarından uzaklığı yönetmeliğin Ek-12/C tablosunda verilen esaslara göre belirlenir.

Tablo 8: Yönetmelik Ek-12/C Tablosu - Açıkta Kurulu Yerüstü Tankları ile İlgili Asgari Emniyet Mesafeleri

Tank Hacmi (Litre)	Komşu arsa sınırına, ana trafik yollarına veya demir yollarına uzaklıkları (metre)	Tesise ait idari binalara uzaklıkları (metre)	Tankların Birbirinden Uzaklığı (metre)
1.000 veya daha az	1.5	1.5	
1001–3000	3.0	1.5	1
3.001–45.000	5.0	1.5	1
45.001–115.000	7.0	1.5	1.5
115.001–190.000	10.0	3.0	Birbirine komşu tankların çaplarının toplamının ¼ ü
190.001- 375.000	15.0	5.0	
375.001–1.900.000	25.0	7,5	
1.900.001–3.750.000	30.0	10.0	
3.750.001- 7.550.000	40.0	15.0	
7.550.001–11.375.000	50.0	17.5	
11.375.001 veya daha fazla	55.0	20.0	
Mesafeler tank dış cidarlarından ölçülen en kısa mesafedir. Tank tesis sahasında dökülen sıvıların kolayca biriktirileceği havuzlama sistemi yaptırılır. Tankların tamamı yağmur, drenaj ve kanalizasyon sisteminden ayrı olarak bir kanal sistemi ile ve uygun bir eğimle bu havuz sistemine bağlanır.			

Bu tablonun aynısı NFPA 30 standardında da referans tablosu olarak verilmektedir. Ancak standartta buna ek olarak tanklarda koruma sistemleri, çevre koruma sistemleri, tank tipi ve izolasyona bağlı olarak bu mesafeler değiştirilmiştir. Tablo 10'daki değerler, atmosferik tanklarda Sınıf I, II ve IIIA sıvıların depolandığı durumlarda geçerlidir. Sınıf IIIB'ye giren sıvılar için ise Tablo 11 kullanılmaktadır.

Tablo 9: NFPA 30:2027 Tablo 24.7.4.1.1(a)

Tank Tipi	Koruma	En Az Mesafe (m)	
		Kamu Yolunun Karşı Tarafı Dahil Olmak Üzere Parsel Sınırından	Herhangi Bir Kamu Yolunun En Yakın Kenarından veya Aynı Parsel Üzerindeki En Yakın Önemli Binadan[a]
Yüzer Çatılı Tanklar	Çevre Koruması[b]	½ × tank çapı	1⁄6 × tank çapı
	Yok	Tankın çapı (55 m'den fazla olmasına gerek yoktur)	1⁄6 × tank çapı
Zayıf Çatılı Dikey Tanklar	Çapı 45 m'yi aşmayan[c] ve köpüklü veya inert sistemle korunan tanklar	½ × tank çapı	1⁄6 × tank çapı
	Çevre Koruması[b]	Tankın çapı	⅓× tankın çapı
	Yok	2 × tank çapı (105 m'den fazla olmasına gerek yoktur)	⅓× tankın çapı
Yatay ve Dikey Tanklar (Basıncı 17 kPa'da sınırlandıran acil durum tahliye havalandırması olan)	Onaylı inert sistemi veya dikey tankta köpüklü söndürme sistemi	½ × Ek-12/C'deki değer	½ × Ek-12/C'deki değer
	Çevre Koruması[b]	Ek-12/C'deki değer	Ek-12/C'deki değer
	Yok	2 × Ek-12/C'deki değer	Ek-12/C'deki değer
İzolasyonlu Yer Üstü Tankı	Yok	½ × Ek-12/C'deki değer	½ × Ek-12/C'deki değer

[a] En Az mesafe 1,5 m'den az olamaz.

[b] Otomatik veya elle çalışan tank soğutma sistemi (Tasarım yoğunluğu 10 l/dk/m²). 9m'den küçük çaplı tanklar için elle soğutma (hidrant ve/veya monitör) sistemi.

[c] Çapı 45 m'nin üzerindeki tanklar için, duruma göre "Çevre Koruması" veya "Yok" seçeneğini kullanın.

Tablo 10: NFPA 30:2027 Tablo 22.4.1.5

Tank Kapasitesi (l)	En Düşük Mesafe (m)	
	Parsel Sınırından veya Kamu Yolunun Uzak Kenarından	Kamu Yolunun Yakın Kenarından veya Aynı Parseldeki Önemli Binadan
45.000 veya daha az	1,5	1,5
45.001 ila 90.000	3	1,5
90.001 ila 190.000	3	3
190.001 ila 375.000	5	3
375.000'den fazla	5	5

Standardın pek çok yerinde olduğu gibi yanıcılık sınıfı diğer sıvılara göre çok düşük olan IIIB sınıfı sıvılarla ilgili mesafe sınırları da diğerlerine göre düşüktür.

5.2. TAŞINABİLİR KAPLARIN AÇIKTA DEPOLANMASI

Sabit olmayan kapların dış sahada depolanmasıyla ilgili yönetmelikte koruma bölgesiyle ilgili Ek-12/D tablosu verilmiştir.

Tablo 11: Yönetmelik Ek-12/D Tablosu - Taşınabilir Kaplar ile Depolamada Koruyucu Bölge Genişliği

Depolanan Hacim	Koruyucu Bölge Genişliği
10-30 m³	10 m.
30-100 m³	20 m.
200 m³'den büyük	30 m.

NFPA 30'daki taşınabilir kapların depolanması kurallarına ait tablo aşağıdadır.

Tablo 12: NFPA 30:2027 Tablo 15.4

Taşınabilir Kaplardaki Yanıcı Sıvıların Dışarıda Depolamasına İlişkin Sınırlamalar									
Sıvı Yanıcılık Sınıfı	Variller, Konteynerlar		Portatif Tanklar ve Metal IBC'ler		Plastik ve Kompozit IBC'ler		Minimum Mesafe (m)		
	Yığın Başına En Fazla Miktar (l) [a,b,c]	En Fazla Depolama Yüksekliği (m)	Yığın Başına En Fazla Miktar (l)	En Fazla Depolama Yüksekliği (m)	Yığın Başına En Fazla Miktar (l)[a,c]	Maksimum Depolama Yüksekliği (m)	Yığınlar veya Raflar Arasında	Komşu Parsel Sınırına [b,d]	Kamuya Açık Yola[b]
IA	5.000	3	10.000	2,1	İV	İV	1,5	15	3
IB	10.000	4	20.000	4,2	İV	İV	1,5	15	3
IC	20.000	4	40.000	4,2	İV	İV	1,5	15	3
II	40.000	4	80.000	4,2	40.000	4,2	1,5	7,5	1,5
III	100.000	6	200.000	4,2	100.000	6	1,5	3	1,5

İV: İzin verilmez.

[a] İki veya daha fazla sıvı sınıfının tek bir yığın halinde depolandığı durumlarda, bu yığında izin verilen maksimum miktar, en tehlikeli sıvı sınıfındaki miktar olacaktır.

[b] İstif yüksekliği %50 az ise mesafe de %50 düşürülür. Mesafe hiçbir şartta 1 m'den az olamaz.

[c] Raflarda depolama için yığın başına miktar sınırları geçerli değildir ancak raf düzenlemeleri en fazla 15 m uzunluk ve iki sıra veya 2,7 m derinlik ile sınırlandırılmalıdır.

[d] Mesafeler otomatik veya elle (hidrant, monitör) soğutma sisteminin bulunduğu durumlar için geçerlidir. Sistem yoksa mesafeler iki katına çıkartılır.

Burada da yine yanıcılık sınıfı ve kap türüne göre depolama yükseklikleri, toplam miktarlar ve mesafeler verilmiştir.

6. YERALTI TANKLARI EMNİYET MESAFELERİ

Tankların meskun yerlere olan uzaklığı ile kendi aralarındaki uzaklık için yönetmeliğin Ek-12/Ç tablosundaki değerler esas alınır.

Tablo 13: Yönetmelik Ek-12/Ç Tablosu - Yeraltı Tankları ile İlgili Asgari Emniyet Mesafeleri

Tank Hacmi (Litre)	Yeraltı tanklarının komşu arsa sınırına, ana trafik yollarına veya demir yollarına uzaklıkları (metre)	Tankların Birbirinden Uzaklığı (metre)
500 veya daha az	0	0
500–3000	3.0	1.0
3.001–10.000	5.0	1.0
10.001–50.000	7.5	1.0
50.001–120.000	10.0	1.5
120.001- 250.000	15.0	Birbirine komşu tankların çaplarının toplamının ¼ ü
250.001–600.000	15.0	
600.001–1.200.000	15.0	
1.200.001- 5.000.000	15.0	
5.000.000 den büyük	15.0	

NFPA'deki yeraltı tank mesafeleri yönetmelik mesafelerine göre oldukça düşüktür. Mesafeler tank hacminden tamamen bağımsız olarak verilmiştir.

Tablo 14: NFPA 30:2027 Tablo 23.4

Yeraltı Tankları Emniyet Mesafeleri		
Sıvı Yanıcılık Sınıfı	Minimum Mesafe (m)	
	Parsel içindeki binanın bodrum katına	Komşu Parsel Sınırına
I	0,3	0,9
II ve III	0,3	0,3

7. ÜRETİM TESİSLERİ

Yönetmeliğin 118.maddesinin 3.fıkrasında, "*Yanıcı ve parlayıcı sıvıların, bunların işlendiği fabrika ve atölye binalarında depolanmasına, Ek-12/B'de belirtilen değerleri aşmaması ve işlemin yürütüldüğü alandan tecrit edilmiş bir alan içinde yer alması şartı ile izin verilir.*" hükmü yer almaktadır. Ek 12/B tablosu da aşağıdaki gibidir.

Tablo 15: Yönetmelik Ek-12/B Tablosu - Yanıcı ve Parlayıcı Sıvıların Bina İçinde Depolanması [1]

En fazla Depolama Alanı (m^2)	Müsaade edilebilir miktar (litre/ Döşeme Alanı m^2)	Yangına dayanıklılık (dakika)	Yangın korunumu [2]
15	70	60	YOK
15	175	60	VAR
50	140	120	YOK
50	350	120	VAR

[1] Yanıcı ve parlayıcı sıvıların işlendiği fabrika ve atölye binalarında işlemin yürütüldüğü alandan tecrit edilmiş bir alandır.
[2] Yangın korunumu, yağmurlama sistemi, karbondioksit, kuru kimyevi toz veya diğer uygun bir sistem ile sağlanır. Sınıf IA Sınıf IB sıvı toplam miktarı Ek-12/A'daki değerini aşmaz.

Bu tabloda ile ilgili karşılaşılan en büyük hata, bu miktar sınırlarının proses tankları için de talep edilmesidir. Tablonun 1 numaralı notunda bu sınırlamanın, imalat alanlarından ayrılmış depolama odaları için olduğu açıkça yazılıdır. Yönetmelikte, proses tankları kapasiteleriyle ilgili bir kapasite sınırlaması tarif edilmemektedir. NFPA standardında da benzer şekilde proses tanklarının kapasite sınırlamalarına tabi olmadığı belirtilmektedir.

8. YANGINDAN KORUNMA SİSTEMLERİ

Yönetmeliğin 122.maddesinde yanıcı sıvıların depolandığı, doldurulduğu ve nakledildiği tesislerin, yeterli yangın önleme sistemleri ile donatılması gerektiği genel ifadelerle yazılmıştır.

Yanıcı parlayıcı sıvıların bulundurulduğu binalar 1.000 m^2 kapalı alandan büyük olduğunda yağmurlama sistemi yapılması zorunludur. Aynı büyüklük, yangın dolabı kullanımı zorunluluğu için de geçerlidir.

Bina dışında yapılan depolamalarda, yangın dolabı, hidrant gibi manuel yangınla mücadele araçlarının ne zaman gerektiği, ne zaman yeterli olduğu, köpüklü, sulu veya alternatif ajanlı otomatik söndürme veya soğutma sistemlerinin hangi durumlarda zorunlu olduğuna dair net bir hüküm bulunmamaktadır. LPG tanklarında soğutma sistemi için kullanılan 10 m^3 sınırı, yanıcı parlayıcı sıvılar için de kullanılabilir mi? Bu sınır, tek bir tankın hacmi için mi, yoksa toplam kapasite için mi kullanılmalıdır? Bu soruların cevapları yönetmelikte net bir şekilde verilmemiştir.

NFPA 30'a bakıldığında dış sahadaki yerüstü tanklar için birtakım hükümler görülmektedir. Tankta depolanan sıvı Sınıf I'e giriyorsa, kapasitesi 190 m^3'ten fazlaysa ve aynı parsel içindeki veya komşu parseldeki bina ve tesisler için tehlike yaratıyorsa, otomatik söndürme ve/veya soğutma sistemleriyle korunması talep edilmektedir. Diğer durumlarda, söndürme sistemlerinin yapılması, tankların birbirleriyle ve çevreyle olan mesafelerine göre kararlaştırılmaktadır.

9. SONUÇ

Yanıcı parlayıcı sıvıların kullanıldığı ve depolandığı binalar için yönetmelikte verilen kuralların daha fazla detay içermesi, kullanıcıların, tasarımcıların, onay mercilerinin ve denetleyicilerin işini kolaylaştıracaktır.

Otomatik yağmurlama sistemlerinin yangınla mücadelede çok önemli olduğu tüm gelişmiş ülkelerde kabul edilmiştir. Bu sistemler hem can kaybını hem de mali zararları çarpıcı şekilde azaltmaktadır. Tüm dünya bu sistemlerin kullanılmasının yaygınlaştırılması konusunda çalışmaktadır. Diğer taraftan da bu sistemlerin daha etkili olabilmesi için, gelişen teknolojilerden de faydalanarak, araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Yağmurlama sistemlerinin bu etkinliği, binalarda alınacak diğer yangın güvenlik tedbirlerinin de hafifletilmesini sağlayabilmektedir. Yağmurlama sistemiyle korunan binalarda kaçış mesafelerinin daha uzun olmasına, yangın kompartıman sınırlarının kaldırılmasına veya büyütülmesine, yapı elemanlarının yangına dayanım sürelerinin azaltılmasına bizim yönetmeliğimizde de yer verilmektedir. Ancak yanıcı parlayıcı sıvıların kullanıldığı yerlerle ilgili kurallarda bu etkiye yeterince yer verilmemiştir. Mevcut kuralların uluslararası standartlar ve kodlar ışığında güncellenmesi ve detaylandırılması doğru olacaktır. Bu sayede kullanıcıların karşılaştığı güçlükler azalacak, karar verici ve denetleyiciler daha doğru kararlar vereceklerdir.

10. REFERANSLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007.

[2] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kilavuzu, 2024

[3] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Uygulama Kilavuzu, 2024

[4] NFPA 30, Flammable and Combustible Liquids Code, 2027.

11. KISA ÖZGEÇMİŞ

Taner KABOĞLU

1972 yılında İstanbul'da doğmuştur. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 1994 yılında tesisat sektöründe saha ve kontrol mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve yangın korunum sistemleri konusunda proje, tasarım, taahhüt, satış ve servis-bakım mühendisliği görevlerinde bulunmuştur. 2008 yılından itibaren serbest olarak proje ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Amerikan Yangından Korunma Birliği NFPA tarafından verilen CFPS (Certified Fire Protection Specialist – Sertifikalı Yangın Korunum Uzmanı) belgesinin (Belge no: 3219) Türkiye'deki ilk sahibidir. 2017-2022 yılları arasında Tüyak Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı ve Yangından Korunma Derneği Başkanlığını yürütmüştür. Halen Tüyak Vakfı'nın Başkan Vekilliği görevindedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

PATLAYICI ATMOSFERLERE SAHİP BÜYÜK ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE ELEKTRİKSEL İŞ KAZASI VE YANGIN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Ferit PEKEROĞLU
Nurcan PEKEROĞLU

ÖZET

Büyük endüstriyel tesislerde yaşanan iş kazalarının sebepleri incelendiğinde; elektrik tesisat ve bileşenleri kaynaklı güvenlik zaaflarının ilk sırada yer aldığı, kaza sonrası hazırlanan yargı ve bilirkişi raporlarının analizi ile sabittir. Bu çalışmada, ülkemizde yaşanan çok sayıdaki endüstriyel kaza arasından 2020 yılı itibariyle sadece on farklı tesisteki yangın ve patlama vakalarının değerlendirmesi yapılmıştır. Elektriksel riskler açısından mesuliyet, yaklaşık maliyet ve kaza sonrası cezai süreçler kapsamındaki detaylı veriler grafikler halinde hazırlanmıştır.

Sanayi tesislerindeki elektrik kaynaklı yangın risk analizi eksiklikleri ve elektriksel proses güvenliği yetersizliği gibi çeşitli elektrik mühendislik ihmalleri sonucu meydana gelen iş kazalarının hukuki sorumluluk değerlendirmelerine de çalışma kapsamında yer verilmiştir. Yargıtay Kararları referans alınarak, kök sebebi elektriksel iş kazaları olan vakalar sonrası illiyet bağı gereğince taraflara hüküm tasnifinin taksir ve/veya kast cephesinden analizi yapılmıştır. İşveren ve çalışanların bilmesi gereken hukuki yükümlülük ve genel iş güvenliği sorumluluklarının ehemmiyeti adli kararlarla bilahare izah edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Elektrik kaynaklı yangın, patlayıcı atmosfer güvenliği, elektriksel iş kazası, elektriksel proses güvenliği

ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF ELECTRICAL ACCIDENTS AND FIRES IN LARGE INDUSTRIAL FACILITIES WITH EXPLOSIVE ATMOSPHERES

ABSTRACT

An analysis of judicial and expert reports prepared following workplace accidents in large industrial facilities confirms that safety deficiencies stemming from electrical installations and components are the leading cause of such accidents. In this study, among the numerous industrial accidents occurring in our country, an evaluation was conducted regarding fire and explosion incidents at only ten different facilities as of 2020. Detailed data regarding liability for electrical risks, estimated costs, and post-accident criminal proceedings have been prepared in the form of charts.

The scope of the study also includes an assessment of legal liability regarding workplace accidents resulting from various electrical engineering oversights, such as deficiencies in fire risk analysis related to electrical systems in industrial facilities and inadequacies in electrical process safety. Based on Court of Cassation precedents, and in accordance with the requirement of establishing a causal link, the classification of liability regarding the parties involved in cases where the root cause was an electrical workplace accident has been analyzed from the perspectives of negligence and/or intent. The importance of the legal obligations and general occupational safety responsibilities that employers and employees must be aware of has subsequently been elucidated through judicial decisions.

Key words: Electrical fire, explosive atmosphere safety, electrical workplace accident, electrical process safety

1. GİRİŞ

Patlayıcı atmosferlere sahip büyük endüstriyel tesislerde meydana gelen patlama ve yangın vakalarının başlıca tetikleyici unsuru olan elektrik tesisat ve bileşenlerinin bütünü için mühendislik ve risk yönetimi usul ve esasları, ilgili işletmenin güvenlik politikaları içinde yer alması gereken en kıymetli süreçtir. Kimya üretim sanayi başta olmak üzere, patlama potansiyeli yüksek tehlikeli kimyasallarla gerçekleştirilen tüm çalışma ortamlarında elektriksel tehlike kaynakları sürekli takip altında tutulmalıdır.

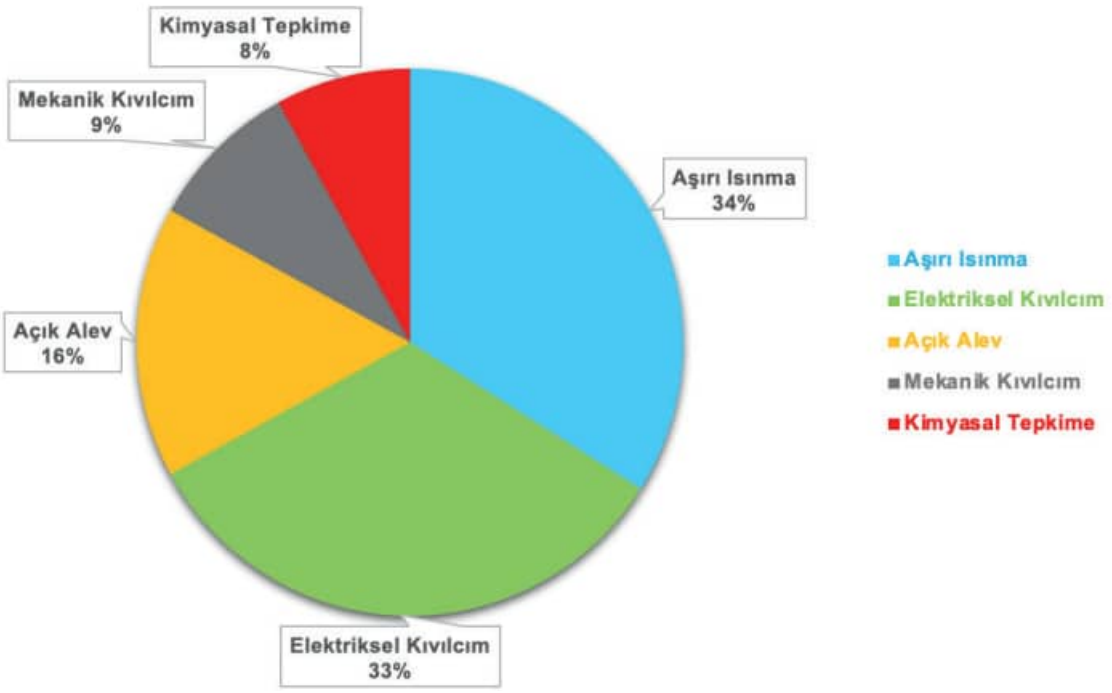
Büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel etkilerinin azaltılmasına kadar olan proses güvenlik aşamalarının tamamında elektriksel risk faktörleri detaylı analiz edilmiş olmalıdır. Endüstriyel kaza tehlikelerinin belirlenmesi ve muhtemel etkilerinin değerlendirilmesi için çeşitli metodolojiler mevcuttur. Tesisin kurulum aşamasından, devreye alınmasına ve işletilmesine kadar devam eden tüm evrelerinde ilgili metodolojiler, risk yönetimi adına veri kaynağı akışını sağlayan birer unsurdur. Nitekim, henüz tesis plan/proje aşamasında başlayan proses güvenlik yönetimi, tesisin kullanım ömrü boyunca sürdürülmesi gereken bir zorunluluktur. Tesis ilk kurulumunun ardından, devreye alınması, işletme sırasındaki tüm ekipmanların genel uygunluk ve kontrol performansları, tesis güvenlik kalkanlarının aktivasyon takibi, tehlike kaynaklarının sürekli tayini ve tarif edilmesi, muhtemel değişimlerin yönetimi süreçleri, acil durum planları hazırlama ve yönetimi evreleri sürekli güncel ve aktif tutulmalıdır. Tesis genelindeki muhtemel en küçük revizyonun proses güvenliğine etkisinin kayıt altına alınması ve kontrollü şekilde yönetilmesi gerekir. Proses güvenliğinin yanı sıra iş güvenliği, yangın güvenliği ve acil durum yönetimi gibi teknik emniyet kalkanlarının performanslarının izlenmesi, detaylı incelenmesi ve denetlenmesi ile kazasız çalışma ortamları yaratılabilir. Güvenlik zincirinin herhangi bir halkasının zayıf düşmesi, dikkatlerden kaçması, tespit ve öngörü yetersizliği ve/veya olası amatör inisiyatif kullanılarak risklerin minör görülmesi neticesinde ihmal edilebilirliği gibi alınan hatalı kararlar, büyük endüstriyel kazaların ilk fitilini ateşleyecek faktörlerden sayılır.

Yaşanan kazaların kök sebeplerinin değerlendirilmesi neticesinde; tesis içindeki kritik operasyon görevlilerinden kaynaklanan asli kabahatler, risk değerlendirmesi ve güvenlik kültürü yetersizliği, iş izinlerinde yaşanan hatalı kararların verilmesinin yanı sıra iş ekipmanları ve enstrümanlardan kaynaklı çok sayıda değişkene bağlı tehdit unsurlarının yer aldığı görülmektedir. Çalışma ortamlarının emniyetli tasarımı, işletme ve proses akışının kusursuz planlanması, kalifiye personel zenginliği, sürekli personel eğitimleri, çalışma talimatlarının uygunluğu, alarm sistemlerinin güvenilirliği, müdahale/koruma/kontrol /kurtarma ekiplerinin mevcudiyeti ve performans analizleri periyodik olarak takip ve denetim altında tutulmalıdır.

2. ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE PATLAMA VE YANGIN SÜRECİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER ve SONUÇLARI

Patlayıcı atmosferlere sahip büyük endüstriyel tesislerde patlama ve yangın süreci, tehlikeli kimyasallar ve basınç kaynaklarının risk analizine bağlı olarak tehditlerin bertarafı ile önlenebilir bir yönetim ilkesinin belirlenmesi suretiyle güvenli çalışma ortamları tesis edilebilir. Yangın üçgeni ve patlama beşgeni gibi istenmeyen tehlikeli geometrik dengelerin sürekli olarak dağıtılması/bozulması gerekir. Ortamdaki patlayıcı ve yanıcı tehlikeli kimyasalların yapılarının işletme yetkilileri tarafından iyi tanınıyor ve risk potansiyelleri biliniyor olmalıdır. Çalışma alanı içindeki oksijen miktarı ehemmiyeti de dikkate alınarak, tüm ısı kaynakları ve diğer proses ihtiyaçları, patlama ve yangın risklerine müsaade etmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Isıl bileşenlere sahip proses ekipmanlarının muhtemel alevlenmelere dolayısıyla da yangına ve patlamaya karşı proses akış şemasındaki konumlandırmalarına dikkat edilmelidir. Risk görülen her makine, teçhizat, ekipman ve diğer tüm bileşenler ihtiyaç durumunda güvenlik ekseni içinde yeniden tasarlanmalıdır. Üretim formülasyonunu zorlaştırmayacak nitelikte alternatif/ikame çözümlerle sistem güvenliğini sağlamak mümkündür. Patlama potansiyeline sahip tehlikeli kimyasallarla çalışma geçekleştiren endüstriyel tesislerde ar-ge ve ür-ge çalışmalarının referans noktası, proses güvenliği olmalıdır. İş, eylem, üretim ve işletim süreçlerinin merkezine proses emniyeti ilkelerinin eksiksiz dahil edildiği tesislerde, güvenli çalışma ortamı sürdürülebilir bir döngüye kavuşur.

Patlama ve yangın süreçleri, işletmenin kimyasal, fiziksel ve yönetim kaynaklı unsurlarına bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Risklerin doğru analizi neticesinde alınacak aksiyonlarla endüstriyel yangınları önlemek mümkündür. Tesislerde ateşleyici ve yanıcı malzeme kaynaklarının birbirleri ile yangın üçgeni için ideal koşulları sağlayacak seviyede buluşması daima önlenmelidir. Endüstriyel yangın ve patlama dinamikleri dikkate alındığında tutuşma kaynakları beş ana başlık altında gruplandırılabilir. Buna bağlı olarak, sadece 2025 yılında ulusal anlamda yaşanan endüstriyel yangın ve patlamaların tutuşma kaynakları Grafik 1'de gösterilmiştir.



Grafik 1. 2025 Yılında Yaşanan Endüstriyel Yangın ve Patlamaların Tutuşma Kaynakları [1]

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası (KMO) İstanbul Şubesi tarafından hazırlanan Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2025 Yılı Raporu'na göre, ülkemizde 20 işçinin hayatını kaybettiği ve 173 işçinin de yaralandığı 755 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 700'ü endüstriyel yangın, 55'i ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [1].

Ardışık yıllarda hazırlanan mezkur çalışma raporu kapsamındaki 2024 yılı kayıtlarına göre, ülkemizde 29 işçinin hayatını kaybettiği ve 138 işçinin de yaralandığı 720 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 694'ü endüstriyel yangın, 26'sı ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [2].

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası 2023 yılı çalışma raporuna göre, yine ülkemizde 22 işçinin hayatını kaybettiği ve 152 işçinin de yaralandığı 529 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 496'sı endüstriyel yangın, 33'ü ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [3].

2022 yılına ait Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar Raporu'na göre, ülkemizde 22 işçinin hayatını kaybettiği ve 139 işçinin de yaralandığı 587 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 551'i endüstriyel yangın, 36'sı ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [4].

Kimya Mühendisleri Odası 2021 yılı çalışma raporuna göre, yine ülkemizde 8 işçinin hayatını kaybettiği ve 103 işçinin de yaralandığı en az 394 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 358'i endüstriyel yangın, 36'sı ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [5].

Yine TMMOB Kimya Mühendisleri Odası (KMO) İstanbul Şubesi tarafından özveri ile hazırlanan Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2020 Yılı Raporu'na göre, ülkemizde 29 işçinin hayatını kaybettiği ve 239 işçinin de yaralandığı 493 endüstriyel yangın ve patlama meydana gelirken bu kazaların 441'i endüstriyel yangın, 52'si ise endüstriyel patlama olarak sınıflandırılmıştır [6].

Çeşitli kurum ve kuruluşlardan elde edilen veriler ışığında TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi tarafından hazırlanan kaza raporları incelendiğinde, endüstriyel yangın ve patlamaların sadece son altı yıl için dahi görüldüğü üzere ulusal bir güvenlik sorunu olduğu aşikardır. Söz konusu endüstriyel yangın ve patlamaların kök sebepleri değerlendirildiğinde mükerrer tetikleme faktörü oranlarında büyük farklılıklar görülmemektedir. Dolayısıyla, kazalardan çıkarılması gereken derslerin tüm sektör bileşenleri tarafından iyi analiz edilmediği maalesef bir gerçektir.

Yasal düzenleme revizyonları ile muhtemel yetersiz ve/veya eski mevzuatlara yeni teknolojik açılım ve aktarımların eklenmesi ihtiyaçlarına yönelik hızlı aksiyonların alınmaması, yeni ve daha etkin önleme politikalarının hazırlanmaması ya da yetersizliği, kamusal ve özel denetim sıklığının ilgili yönetmelik ve standartlara uygun vasıflarda artırılmaması ve sanayi tesislerinin tüm bu süreçlere uyum/adaptasyon ve oryantasyon süreçlerindeki performans yetersizliği gibi çeşitli sorunların devam ettiği gerçeği, istatistikler ışığında bir kez daha iş kazaları ve kayıplarının büyüklüğünü adeta deşifre etmektedir.

Yangın ve patlama minvalinde büyük endüstriyel kazaların yaşanması sebebiyle, manevi kayıpların yanı sıra makro maddi kayıpların da beraberinde geleceği gerçeği kaçınılmaz bir sonuçtur. Bu durum; sadece kazanın yaşandığı işletmenin, işletme çalışanlarının, ilgili sanayi ve coğrafi bölgelerin ya da ilgili sektörün değil, yurt çapında domino etkisi ile (ve üstelik illiyet bağı olmaksızın da) tüm vatandaşların ve toplumun müş-

terek bir güvenlik sorunudur. Ayrıca, ulusal makroekonomik kayıplar da dikkate alınmalıdır. Özetle, sadece 2020 ile 2025 yılları arasındaki birbirinden bağımsız her bir tesisin ve çalışanın değişmeyen kaderi niteliğindeki endüstriyel kaza kayıtları incelendiğinde Tablo 1'de ölüm ve yaralanma kayıtları birleştirilmiştir. İlgili kayıtlardan çıkarılması gereken en önemli husus; kaza önleme stratejilerinin yetersiz olduğu ve mevzuatlar, mevcut mevzuatlara uyum, denetim ve eğitim/farkındalık bilinci yetersizlikleridir.

No	Yıl	Endüstriyel Yangın	Endüstriyel Patlama	Endüstriyel Kaza	Yaralanma	Ölüm
1	**2025**	700	55	**755**	173	**20**
2	**2024**	694	26	**720**	154	**30**
3	**2023**	496	33	**529**	152	**22**
4	**2022**	551	36	**587**	139	**22**
5	**2021**	358	36	**394**	114	**8**
6	**2020**	441	52	**493**	239	**29**
	TOPLAM	**3.240**	**238**	**3.478**	**971**	**131**

Tablo 1. 2020-2025 Yılları Arasında Yaşanan Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar ve Sonuçları [1-6]

No	Yıl	Elektriksel Kıvılcım (%)	Aşırı Isınma (%)	Açık Alev (%)	Mekanik Kıvılcım (%)	Kimyasal Tepkime (%)
1	**2025**	**33**	**34**	**16**	**9**	**8**
2	**2024**	**34**	**19**	**19**	**19**	**9**
3	**2023**	**54**	**19**	**3**	**19**	**5**
4	**2022**	**49**	**20**	**4**	**23**	**4**
5	**2021**	**53**+2*	--	**2**	**44**	--
6	**2020**	**67**+3*	**12**	**4**	**10**	**3**
	TOPLAM	**~49.2**	**~20.8**	**~8.0**	**~20.7**	**~5.8**
bilinmeyenler hariç tutulmuştur.					** yıldırım etkisi*	

Tablo 2. 2020-2025 Yıllarında Yaşanan Endüstriyel Yangın ve Patlamaların Tutuşma Kaynakları [1-6]

Mezkur raporlar kapsamında 2020-2025 yıllarına ait tutuşturma kaynağı tespit edilen endüstriyel yangın ve patlama vakalarında elektriksel kıvılcımların yarattığı oran, diğer tutuşturma kaynaklarından oldukça yüksek bir yüzdeye sahiptir. Proje, tasarım, planlama ve kurulum evrelerinde yapılan muhtemel hesap ve risk analizi hataları başta olmak üzere; işletme, bakım, fenni muayene ve diğer elektriksel iş güvenliği ihlal, kusur ve yetersizlikler sebebiyle elektriksel kıvılcımlar başlıca vaka kaynağı niteliğine erişmektedir.

Son altı yılın endüstriyel patlama istatistikleri incelendiğinde kimyasal tepkime kaynaklı vakaların oranı yaklaşık %6 iken, elektriksel kıvılcım kaynaklı vaka oranının ise yaklaşık %50 bandında olduğu tespit edil-

miştir. Şöyle ki, kimya sanayi genelinde yaşanan patlamaların tehlikeli kimyasal madde tepkimeleri hadiselerinden ziyade, daha çok elektriksel tehlike kaynakları sebebiyle meydana geldiği görülmektedir. Elektrik tesisat/ekipman ve cihazlardaki muhtemel arızalar, bakım/onarım aşamalarında yaşanan hatalı tutum ve davranışlar ile muhtemel diğer hatalı elektriksel manevralar sebebiyle yangın ve patlamaların oluş biçimlerinde genel olarak elektriksel kıvılcım başlığı ana aktör rolünü üstlenmektedir. Büyük sanayi tesislerindeki elektrik tesisat ve diğer bileşenlerinin teknik emniyet, proses güvenliği ve yangın güvenliği açısından ne kadar büyük bir öneme sahip olduğu açıktır.

2.1. Patlama Ve Yangın Sürecine Etki Eden Elektriksel Faktörler

Endüstriyel yangın ve patlamaların kök sebeplerini elektriksel risk mühendisliği bakış açısıyla anlamak, patlamadan korunma ve kazalara karşı önlem alma ilkelerinin sürekliliğinin sağlanabilmesi için tesis risk yöneticilerinin oldukça kapsamlı bakış açısına sahip olması gereklidir. Elektriksel risklerin tespiti için sahada uzun soluklu risk avcılığı yapılmalıdır. Risk yönetimi, masa başından sürdürülebilir bir tutum ve çözüm değildir. Sanayi tesislerindeki elektrik tesisatları genelinde en korkulan ve oldukça sık karşılaşılan ark parlaması patlamaları başta olmak üzere, fabrika içindeki tüm elektrifikasyon altyapısı ve üstyapısını sürekli denetim ve periyodik takip kontrol altına almak kaçınılmaz bir zorunluluktur.

Endüstriyel elektrik tesisatlarında doğrudan ve dolaylı risk faktörleri değerlendirildiğinde, elektriksel risk analizi raporlarına yansıyan ya da muhtemel kazalar sonrasında bilirkişi heyeti tarafından sahada tespit edilen genel başlıklar aşağıda yer almaktadır.

Bakım/onarım riskleri : Elektrik tesisatlarının planlı bakım ya da olağandışı (ani ve/veya acil müdahale kaynaklı) bakım onarım işlemleri sırasında gerekli tedbirlerin alınmaması suretiyle yaşanan durumlar.

Aşırı ısınma riskleri : Rutin ve aşırı yüklenme/kullanım durumlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren elektriksel ısıl etkiler kaynaklı elektriksel malzemelerin/ekipmanların (özellikle kontaktörler, kondansatör, devre kesici koruma elemanları, motor sargıları, kablolar, alçak gerilim ve yüksek gerilim akım gerilim trafoları vb gibi) kendi kendine tutuşma sıcaklığını geçmesi durumları. Bilhassa, aşırı akım yüklenmesi ve kablo reglaj kusurları sebebiyle iletkenlerde meydana gelen kablo yangınları ön plana çıkmaktadır. İletkenlere ait plastik yalıtım malzemelerinin pirolize olarak zehirli ve yanıcı gazların alev alması suretiyle muhtemel kablo taşıma sistemlerinde ve/veya enerji dağıtım/kontrol panolarında açık alev risklerinin vuku bulması durumları da söz konusu olmaktadır.

Elektriksel kıvılcım : Elektrik tesisatlarında ve elektrikli aletlerden çıkan muhtemel (ark atlamaları) kıvılcımın yanıcı maddeleri tutuşturması durumlarıdır. Yüksek voltaj etkisi, darbe gerilimi hataları, genel montaj sıkılık kontrolü yapılmayan ekipmanlarda sıkça vuku bulan gevşek bağlantı hataları, faz-faz arası ve/veya faz-toprak arası gibi kısa devre durumları örnek gösterilebilir.

Elektrik tesisatında arıza : Elektrik tesisatlarındaki bilimum kusur durumları.

Elektrikli cihazlarda arıza : Elektrikli aletlerdeki kusur durumları. İlgili yönetmelik ve standartlara uygun üretimi yapılmamış, mamafih sektörde kullanımı mevcut olan çeşitli izolasyon kusurlarına sahip elektrikli cihazların/ekipmanların bulunması ve risk/tehlike temelli güvenlik şartlarını sağlamayan donanımların kul-

lanılması sorunlarıdır. Elektrikli cihazlar için 2014/35/EU LVD (Low Voltage Directive) Alçak Gerilim Direktifi güvenlik test ve kontrollerine uygun işlemlerin ehemmiyeti büyük rol taşımaktadır. Bu bağlamda, CE işareti kontrolü, IP ve nem testleri kontrolü, kaçak akım testi, yüksek gerilim testleri, ısıl risk testleri, etiketleme ve kullanım kılavuzu uygunluk ve yeterliliği, topraklama sürekliliği testi, mekanik dayanım testleri, yangın ve kimyasal güvenlik testlerine bağlı ölçme ve değerlendirmelerin de yer aldığı oldukça yoğun kritere yönelik uygunluk denetimleri yapılmalıdır. Bu hususta, ulusal mevzuatlarımız kapsamında 02.10.2016 tarih ve 29845 Sayılı Resmi Gazete'de güncel hali ile yayımlanan ve yürüklükte olan Bilim ve Sanayi Bakanlığı tarafından hazırlanan "Belirli Gerilim Sınırları İçin Tasarlanan Elektrikli Ekipman İle İlgili Yönetmelik" hükümlerince, elektrikli ekipmanların, insanların ve malların sağlık ve güvenliğini üst düzeyde koruyan gerekliliklere sahip olmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektedir [7].

Yıldırım etkisi : Tesise yıldırım düşmesi ya da dolaylı etkilerinin yansıması/sirayet etmesi durumlarıdır. Bu etki unsuru, fiziksel olduğu kadar elektriksel bir doğa olayıdır. Tesis içi elektrik tesisatı tarafından bir oluşum sergilemese de, elektrostatik yüklerin ani boşalımı olarak tesisin dış/harici bir tehlike kaynağıdır. Nitekim, iç yıldırımlık sistemlerinin yanı sıra, paratoner vb gibi dış yıldırımlık koruma sistemleri ile tesis güvenlik kalkanına dahil edilmeye çalışılır.

Statik elektrik etkisi : Sürtünme ve temas başta olmak üzere, nesneler üzerindeki elektron alışverişinin nihai olarak ani yük boşaltımı sonucu özellikle patlayıcı atmosferlere sahip çalışma ortamlarındaki çok önemli risk unsurudur. Ortam nemlendirmesi, antistatik ürün/ekipman kullanımı ve topraklama önlemleri ile her ne kadar emniyetli çalışma ortamı oluşturulmaya çalışılsa da, endüstriyel tesislerde patlamadan korunma hususunda oldukça büyük hassasiyetle takip edilmesi gereken bir tehdittir. Yanıcı buharlardan ve toz patlamalarına müsait ortamlardan tamamen uzak tutulmalıdır. Statik elektrik oluşumunun önüne geçebilme amacıyla üretim/proses ortamında bulunan tüm statik yük biriktiren izole iş ekipmanlarının, plastik donanımların, sentetik malzemelerin ve başlıca yalıtkan yüzeylerin bilahare iyi değerlendirilmesi gerekir. Konu hakkında ABD merkezli Ulusal Yangından Korunma Birliği NFPA 77 Standart hükümleri dikkate alınabilir. İlgili standart, yangın ve patlamaları önlemek amacıyla statik elektrik tehlikelerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi konusunda rehberlik imkanı sağlamaktadır [8].

2.2. Patlayıcı Ortamlarda Elektriksel Proses Güvenliği ve Risk Yönetimi

Endüstriyel tesislerde yaşanan iş kazalarının orta ve uzun vadede ekonomik sonuçlarını kestirmek çoğu zaman mümkün değildir. Kazalar, nadiren bir anda ortaya çıkar. Bir endüstriyel tesis genelinde yaşanan ramak kalalar ve risk analizi çıktılarının yanı sıra geçmişte farklı işletmelerde yaşanmış kaza tecrübeleri neticesinde elde edilen verilerin doğru analiz edilmesi halinde, her kaza öncesinde bir erken uyarı alınabildiğini görmek mümkündür. Bu bağlamda, özellikle proses güvenliği ekseninde doğru stratejilerin belirlenmesi ve uygulanması kabiliyeti ile muhtemel kazalara kontrolsüz sürüklenme ihtimali ortadan kaldırılabilir. Basiretli karar alıcıların süreci en güvenli şekilde yönetebilmeleri mümkündür.

Proses güvenliğini yönetmeye talip olanlar, müstakbel görev ve sorumlulukları için politika ve strateji geliştirmek ve işletme devamlılığının sağlanabilmesi adına alınan kararların tümüne sadık ve hakim olmalıdır. Her işletmenin kaza önleme politikası kapsamında geliştirilmiş bir karar verme mekanizması mevcuttur. İşletmeden işletmeye farklılıklar göstermekle birlikte, uygulanabilir kaza önleme stratejileri sınırsızdır. Bu tutum, tesisin iç dinamikleri ile paralel bir perspektif çizer.

Endüstriyel kazaların muhtemel etkilerinin en kısa sürede sonlandırılabilmesi için de ekstra bir duyarlılık gerekir. Endüstriyel kazalar her işletme için dahili bir başlangıç gibi görünse de kaza sonuçları farklı iradelerin de sürece dahil olduğu bambaşka aşamalara geçişe neden olabilir. Bu hususta endüstriyel tesislerin fiziki konumlarının yanı sıra çevresel etki değerlendirmesinin proses güvenliği politikasına dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır. 30.04.2013 tarih ve 28633 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" (PKD) hükümlerince; patlamaların önlenmesi ve bunlardan korunmayı sağlamak amacıyla, yapılan tüm işlemlerin doğasına uygun olarak teknik ve organizasyonlara yönelik önlemleri alması hususunda net bir tarif ile işveren görevlendirilmiştir [9].

Mezkur yönetmelik içinde, tesise ait muhtemel risklerin tayini ve tarifi amacıyla da özel hükümlere yer verilmiştir. Bu bağlamda 29.12.2012 tarih ve 28512 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'ne uygun risk değerlendirmesi çalışmalarını yaparken, patlayıcı ortamdan kaynaklanan özel risklerin değerlendirilmesi noktasında özellikle statik elektrik de dahil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri dikkate alınarak bir bütün olarak analiz edilmesi zorunlu kılınmıştır [10].

Toz patlamalarında olduğu gibi patlayıcı kimyasal gazların bulunduğu çalışma ortamlarında da elektrik risklerinin ilgili atmosferden izole edilmiş olması esastır. Bu hususta özellikle yanıcı sıvıların yaydıkları buharlarla muhtemel elektriksel bir tetikleme unsurunun bir araya gelmesi engellenmelidir. Özünde yanıcı sıvılar yanmaz, yanan sıvının atmosfere yaydığı buharıdır. Bu vesile ile yanıcı sıvı buharlarının çoğunlukla havadan ağır olduğu dikkate alınarak, muhtemel dökülme ve/veya zemine yakın sızma vb tehlikeli durumlara karşı elektrik tesisat ve bileşenlerinin konumlandırmalarına büyük önem verilmelidir.

Muhtemel yangın üçgeni buluşmasının tamamlanması durumunda, tutuşan buharın basınç dalgası yaratması suretiyle patlamaya neden olması kaçınılmaz bir sonuçtur. Gazların patlaması için belirlenen alt ve üst sınır LEL/UEL oranlarına dikkat edilmelidir.

Oksijenle yanma tepkimesine girdiğinde üç bin dereceyi aşan alev sıcaklığına ulaşan Asetilen (C_2H_2), doğalgaz ana maddesi olan Metan (CH_4), çok hafif ve kolay tutuşan bir gaz olan Hidrojen (H_2), Propan (C_3H_8) ve Bütan (C_4H_{10}) karışımı olan LPG gibi çeşitli kimyasalların yer aldığı çalışma ortamlarındaki elektriksel ekipmanlar, patlamaya karşı korumalı tip olmak zorundadır. Tabi bu uygulama, tesisin bütünü için geçerli ve zorunlu olan bir husus değildir. Referans, PKD içinde yer alacak zone haritalarıdır.

Patlayıcı atmosfer sınıflandırması yapılan ilgili alanlarda bölgeye uygun ekipmanların doğru montajı ve kullanımı yapılmalıdır. IEC 60079, patlayıcı veya yanıcı gaz, buhar ve tozların bulunduğu tehlikeli (ex-proof) ortamlarda kullanılan elektrikli ve elektronik ekipmanların tasarımı, üretimi, test ve kurulumu için belirlenmiş uluslararası standartlar serisidir [11]. IEC 60079 atex seri standartları kapsamında elektriksel ekipmanlar için kurulum, bakım ve fenni muayene süreçleri tüm detayları ile açıklanmaktadır. Standart elektriksel periyodik kontrollerden farklı olarak ex ekipman fenni muayenelerinin usul ve esasları farklılık göstermektedir. Nitekim elektriksel riskler bahse konu tesislerde makro yangın ve büyük patlamaların azmettiricisi vasfı taşımaktadır. Standartların özellikle, IEC 60079-0 (Ekipman-Genel Gereksinimler), IEC 60079-14 (Elektrik tesisatlarının tasarımı, seçimi ve montajı), IEC 60079-17 (Elektrik tesisatlarının muayenesi ve bakımı) ve IEC 60079-19 (Ekipman onarımı, revizyonu ve geri kazanımı) bölümlerinin yanı sıra ex ekipman muhafaza tipleri, yangın güvenliği bilgisi, detaylı elektriksel risk ve güvenlik bilgisi, mesleki tecrübe ve yeterlilik şartları da dahil olacak şekilde, patlayıcı atmosferlerde çalışan tüm elektrik fen adamlarının hakim olması gereken hususlardır [12-15].

3. ENDÜSTRİYEL YANGIN VE PATLAMA VAKALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Vaka incelemelerinde endüstriyel güvenlik kavramının temel faktörleri genel olarak;

- güvenlik sorununun kimi ya da kimleri nasıl ve doğrudan/dolaylı olarak ne kadar ilgilendirdiği,
- korunacak can, mal ve çevresel etkiler ile illiyet bağı kurulabilir tüm değerler bütünü,
- tehdit kaynakları ve azmettiriciler (güvensizlik durumunu meydana getiren tüm sebepler ve/veya paydaşlar) ile bunların iddia ettikleri gerekçeler bütünü şeklinde sıralanabilir.

Büyük endüstriyel tesislerde yaşanan yangın ve patlama sebeplerinin tesiste daha önceden hazırlanmış olan risk analizi raporlarında atıfta bulunulan tehlike kaynaklarına işlenmiş olup olmadığı göz önüne alınarak kaza sonrası kök sebep araştırması önceliklendirmesi yapılabilir. Bu yaklaşım, kaza sonrası hasar gören tüm tesis genelinde (delil toplamak suretiyle) elde edilen verilerin yanı sıra kaza öncesi rutin proses akışındaki mevcut risk potansiyeli farkındalığının olup olmadığına dair en önemli verilerden birini teşkil eder. Nitekim, kaza sonrası tesise intikal eden özel ve kamusal bilirkişiler, risk mühendisleri ve kaza soruşturmasına dahil olanlar vd ilgili ve yetkililerin tamamının çözmeye çalışacağı ana konu; kaza kök sebebinin ne olduğudur.

İşletmenin güvenlik kültürü yaklaşımı ile muhtemel teknik emniyet eksikliklerinin tespiti ardından hızlı aksiyon alma performansı arasındaki adaptasyon ve sergilenen kabiliyet, kaza öncesine ait mevcut durum analizi ile kaza sonrası sahadan toplanan veri akışları ile karşılaştırılır. Eğer risk analizinde kabul edilemeyecek kadar yüksek seviyelere erişime izin sağlanmış ve iş durdurma kararları alınmadan üretim devamlılığı öncelik edinilmişse, adli soruşturma adımlarına dahil edilecek isimler etap etap kendini belli etmeye başlamıştır. Risk seviyesinin yüksek çıkması neticesinde stratejik risk yönetimi geliştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Ancak, yenileme aksiyonları ve riski ortadan kaldırma amacı güdülmemiş ise kalabalık bir güvenlik zafiyetinden bahsedilebilir. İşleyen organizasyonlar, kendi dahili üretim akış şemaları ve alternatif proses değişim dinamikleri ile risk olasılıklarına farklı açılar yükleyebilmektedir.

Bir işletmede güvenlik, kaçınılmaz şekilde tüm paydaşların ortak sorumluluğudur. Ulusal iş sağlığı ve güvenliği mevzuatlarımızın nerdeyse tamamının ilk maddelerinde yer aldığı (adreslendiği) üzere, güvenli çalışma ortamı her ne kadar işverene yüklenmiş olsa da işletmede görev alan herkes güvenlik zincirinin bir parçasıdır. İşyerinde yaşanan muhtemel bir kazadan doğrudan olmasa da dolaylı etkilerinden zarar görmeyen bir işletme paydaşından bahsetmek mümkün değildir. Fizyolojik, ekonomik, psikolojik vd tüm etkiler de dikkate alındığında, endüstriyel kazaların ne kadar büyük alanlara sirayet edebileceğinin tahmini oldukça mümkündür.

Çalışma hayatında kullanılan görev tanımları, zaman zaman sadece o çalışanın ilgili işyerindeki azami adım atabileceği bir hudut (uç sınır) gibi hatalı şekilde algılanabilmektedir. Halbuki görev tanımı, yetki sınırıdır. Bilhassa, elektrik/enerji panolarının üzerinde yer aldığı şekliyle “yetkiliden başkası müdahale edemez” uyarılarına dikkat edilmelidir. Nitekim, personelin işyerindeki görev ve sorumluluk tanımlarında “elektriksel” herhangi bir müdahale ve/veya yetkiye yönelik ifadenin yer almamasına rağmen, çalışanın kendi inisiyatifi ile enerji (yük) altında açma/manevra yapması söz konusu ise, bu durumda kasıtlı bir iş güvenliği ihlali yaşanmış olur. Böylece; olası bir yetkisiz manevra sonucu doğabilecek tüm sorumluklar, görev tanımına aykırı davranışta bulunan çalışanın sorumluluğuna geçmiş olur. Ancak, ilgili manevra (enerji kesme/açma) görevi, çalışanın üstü/amiri tarafından zorla ya da çeşitli mobbing vb gibi yoluyla rızalık dışı bir eyleme dö-

nüştürülerek gerçekleştirilmişse muhtemel kaza sorumlulukları kısmen ya da tamamen adres değiştirmiş (kusurluluk oranı söz konusu) olur. Azmettirici vasfı, talimatı verene; eylemi gerçekleştiren kişiye ise farklı oranlarda sorumluluk pay edilebilir. Buna benzer çok sayıda yaşanmış kazalar mevcuttur. Kaza sonrası güvenlik sorununun kimi ya da kimleri doğrudan ve/veya dolaylı olarak ne kadar ilgilendirdiğine dair müteselsil sorumluklar dizini ancak yargı süreciyle çözüme kavuşturulur.

Endüstriyel güvenlik kavramının temel faktörleri arasında yer alan değerlerin tarifi ise, meydana gelen muhtemel bir kaza sonrası yaşanan tüm manevi ve maddi hasarların bütünüdür. Başta, can kaybı olmak üzere, iş göremezlik, sakatlanma, uzuv kaybı, yaralanma gibi kaza etki alanındaki kişilerin sağlık sorun ve zaiyatlarını kapsar. Yangın ve patlama gibi yaşanan vaka ile mütemadiyen gelişen maddi kayıpların tamamı, değerler bütününü teşkil eder. Bu husus, can ve mal rizikolarının yanı sıra işletmenin kurumsal kimliği, toksikolojik etkiler ile doğacak çevre sorunlarını ve bölgesel ya da sektörel risk potansiyeli yüksek alan tarifi gibi yakıştırmaların da yapılması ile çok yönlü ekonomik ve pazar/piyasa/prestij kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Nihai olarak, vaka incelemelerinde güvenlik faktörleri arasında doğrudan yer alan değerler bütünü; can, mal ve çevresel etkiler ile illiyet bağı kurulabilir tüm kıymet unsurlarının tahribat görebilen kısımlarını teşkil etmektedir. Domino etkisi ile ulusal ve/veya global edinim kayıplarına da zarar vermesi mümkündür.

Vaka incelemelerinde endüstriyel güvenlik kavramının temel faktörleri arasındaki en kritik unsur, hukuki süreç açısından tehdit kaynakları ve azmettiricilerin belirlenmesi ve rücu edilmesi kısmıdır. İşyerindeki güvensizlik durumunu meydana getiren her kim ya da kimler ise, bunların iddia ettikleri gerekçeler veya savunmalar doğrultusunda hukukun üstünlüğüne bağlı olarak karar mekanizmasının devreye girmesi ile tüm cezai işlem takvimi başlamış olur.

Yaşanan iş kazalarındaki kazazedeler ile kazaya sebebiyet verenler arasında iş hukuku kapsamında çeşitli yaptırımlar göz önünde bulundurularak bir dengeye kavuşturulması kaçınılmazdır. Bu bağlamda, Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT) tarafından her yıl düzenli hazırlanan iş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerine göre Avrupa'da en çok ölümlü iş kazasının yaşandığı ülke olan Türkiye'nin, genel kaza soruşturmalarında da ileri aşamalara gelmiş olması beklenir. Ayrıca, çalışma hayatı içinde yine dünyada en fazla iş kazası yaşanan üçüncü ülke olmayı maalesef sürdürmekteyiz. Tüm bunlara bağlı olarak, iş kazalarının hukuki süreçlerinin de oldukça hızlı ilerlemesi beklentisi kaçınılmaz bir gerçektir. Konuya dair içtihatlarımızın zenginliği ve yasal mevzuatlarımızın da güçlü olması sebebiyle, iş kazası davalarının sonuçlanması oldukça kısa sürmelidir. Mevzuatlar oldukça açık ve net, kaza mahalinden toplanan veriler de yeterli olduğu sürece; karar/hüküm vericilerin (adli mercilerin) kaza/dava ve eylemleri kusursuz şekilde değerlendirmesi ile sonuçları aydınlığa kavuşturması mütemadiyen mümkündür.

İş kazası kavramı, işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hale getiren olaydır. Başka bir ifadeyle bir sigortalının işveren otoritesi altında bulunduğu sırada gördüğü iş veya işin gereği dolayısıyla aniden ve dıştan gelen bir etkenle, onu bedenen veya ruhen zarara uğratan kaza olayı olarak tarif edilmektedir [16].

Uluslararası maiyette Avrupa İş Kazaları İstatistikleri (ESAW) metodolojisinde ise iş kazası, iş sırasında fiziksel veya zihinsel zarara yol açan münferit bir olay olarak tanımlanır. Ölümcül iş kazaları tanımı ise, iş kazasının meydana gelmesinden sonraki 1 yıl içinde mağdurun ölümüne yol açan kazalardır [17].

Konuyla ilgili olarak, iş kazalarında kaynaklanan maddi ve manevi tazminat davalarında İş Mahkemeleri yetkilidir. İş Mahkemeleri Kanunu, 30 Ocak 1950 tarihinde kabul edilerek 5521 Kanun Numaralı yasal mevzuatımız olarak, 04 Şubat 1950 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanarak ilk kez yürürlüğe girmiştir.

Akabinde, 2017 yılı son güncellenmesi ile iş kazasından doğan tazminat davalarında, iş kazasının veya zararın meydana geldiği yer ile zarar gören işçinin yerleşim yeri mahkemesinin de yetkili olduğu şeklinde bir ifadeyle tarif edilmiştir [18].

Yüksek yangın riski potansiyeline sahip endüstriyel yapılarda yaşanan yangınlar ve patlama vakalarının hukuki değerlendirmesi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı mevzuatlarının genel kapsamında cezai sorumluluklar ve ardından idari yaptırımlar, çeşitli tazminat davaları, rücu davaları minvalinde ilerler. Bu cezai sorumlulukta, suç sayılan eylemin aktörünün, durumun yasal sonuçlarına katlanması esas ilkedir.

Kaza sonrası araştırma ve soruşturmalarda; olaya dahil/vesile olanların durum, tutum ve davranışlarının kabahat ihtiva edip etmediğine yönelik (kasıtlı tavır, taksir, bilinçli taksir gibi karar verme kabiliyetine dair incelemeler neticesinde kanaat getirme konusunda) kusur ilkesi referans alınır.

Mevzuat uyumundan kaynaklı ihmal ve aksaklıkların tespiti, genel bütçe yetersizliği bahane gösterilmek suretiyle güvenlik önlemlerinin alınmaması ve/veya çeşitli sebeplerle ertelenen güvenlik yatırımları, teknik emniyet kurallarına riayet edilmemesi tespiti, güvenlik önlemlerinin kalıcı ya da geçici olarak iptal edilmesi/askıya alınması durumlarının tespiti, yetkili personelin aşırı özgüven gafleti, risk analizi ve patlamadan korunma dokümanı muhteviyatının yetersiz kalması durumları, personel eğitimleri ve çalışma sahası genel güvenlik talimatnameleri yetersizlikleri, tesisat/ekipman/makine/teçhizat/cihaz vb planlı bakım ve periyodik kontrol eksiklikleri tespiti, işe uygun kalifiye personel görevlendirmelerinin yapılmaması ve daha birçok sayıda tehditle mücadele yetersizliği; kaza soruşturma dosyaları içindeki kaçınılmaz yerini alır. İş kazası dava dosyalarında ihtiyaç görülmesi veya ilave talep edilmesi durumunda spesifik uzman görüşlerine de yer verilmektedir. İşin usulüne uygun bir statüde ilerleyip ilerlemediği hususunun yanı sıra, çalışan kaynaklı (ki bu durum iş kazası istatistiklerinde çok önemli bir büyüklüğe sahiptir) bir kusur olup olmadığı tüm yönleriyle incelenir.

Endüstriyel tesislerdeki kaza incelemelerinde özellikle iki farklı perspektiften yaklaşım sergilenmelidir. Öncelikle olayın gerçekleştiği yerde güvenli çalışma ortamının sağlanıp sağlanmadığının tespiti, sonra çalışanın ya da kazaya karışanların tesis içi güvenlik kurallarına uygun hareket edip etmediğinin tespiti yapılmalıdır. Güvenli çalışma ortamlarının yaratıldığı tesislerde kaza potansiyeli değerlendirmesi, ters orantılı olarak çalışan tarafına doğru bir soruşturma penceresi açar. Ancak; çalışma koşullarının ve çalışanın tüm mevzuatlara uygun performans ve disiplin sergilediğinden emin olmak için, yerinde detaylı araştırma ve incelemeler yapılmalıdır. Aksi halde, kaza sonrası suç/kusur ilkesi karar ve kanaatine erdem göstermek pek mümkün değildir. Kaza sonrası maddi hak talebi süreçleri, tarafların çekişmeli bir adli süreç takibi performansına bağlı olarak sürüp gitmektedir. Genel olarak ortalama bir ila üç yıl kadar süren iş kazası davalarının, kusur tespiti raporlarının içerikleri ve muhtemel maluliyet raporlarının detaylı incelenmesi ve değerlendirilmesi ile bu sürelerde değişiklik söz konusu olabilmektedir. Yanı sıra, iş kazası nedeniyle yaşanan manevi ve maddi kayıplardan kaynaklı gündeme gelen tazminat davalarının kazanın vuku bulduğu tarih itibariyle 10 yıllık zamanaşımı süresi içinde açılabilirliği unutulmamalıdır. İş kazasından doğan tazminat davalarındaki genel zamanaşımı (müruruzaman) süresi, olay tarihi itibariyle her ne kadar on yıl olarak bilinse de; çalışanın mutlak maluliyet oranı uzun süren bir tıbbi müdahale ve tedavi sonucunda kesinlik kazanmışsa, bu süre maluliyet raporunun kesinlik kazandığı tarihten itibaren esas alınır.

Ülkemizde her yıl yaklaşık 1.400 sigortalı çalışan, geçirdiği iş kazası sonucu yaşamını kaybetmektedir. Tablo 3'de 2013 yılından 2021 yılına kadar iş hayatının ülkemizde yarattığı maddi ve manevi kayıpları görmek mümkündür. Can kayıpları ve yaralanmalar başta olmak üzere, kaybedilen gün sayısı da dikkate alındığında (Sosyal Güvenlik Kurumu verilerinin ışığında) iş kazaları üzerinden büyük bir ulusal güvenlik sorunu yaşandığı gerçeği görülmektedir.

Yıllar	İşyeri Sayısı	Çalışan Sayısı	İş Kazası Geçiren Sigortalı Sayısı	İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı	Kaybedilen Gün Sayısı	Yüz Bin İşçide İş Kazası Oranı	Yüz Bin İşçide Ölüm Oranı
2025*			**766.625**	**1.944**			
2021	**2.087.692**	16.169.679	**511.084**	**1.382**	4.650.312	2.654,1	7,18
2020	1.960.911	15.203.423	384.262	1.231	3.492.824	2.122,4	6,80
2019	1.891.512	14.314.313	422.463	1.147	3.627.934	2.526,1	6,86
2018	1.879.771	14.229.170	430.985	1.541	2.488.001	2.574,2	9,20
2017	1.874.682	14.477.817	359.653	1.633	3.996.873	2.105,4	9,56
2016	1.749.240	13.415.843	286.068	1.405	3.453.702	1.787,4	8,78
2015	1.740.187	13.713.717	241.547	1.252	2.992.070	1.565,9	8,12
2014	1.679.990	13.093.230	221.366	1.626	2.065.962	1.523,6	11,19
2013	1.611.292	12.363.785	191.389	1.360	2.357.505	1.405,1	9,98
TOPLAM				**12.577**			

Tablo 3. 2013-2021 Yılları Arası İş Sağlığı ve Güvenliği İstatistikleri [19-20]

** Sosyal Güvenlik Kurumu 2025 İstatistik Yıllığı raporlarına göre, ülkemizde 2025 yılında iş kazası geçiren sigortalı sayısı 766.625 kişi olup, iş kazası sonucu ölüm sayısı 1.944 kişi olarak verilmiştir [19].*

Avrupa Birliği istatistiklerine bakıldığında, sadece 2023 yılında (iş kazası istatistiklerinde üçüncü sırada yer alan Kıbrıs dahil toplam 27 ülkeden oluşan) AB'deki tüm işyerlerinde toplam 3.298 ölümcül kaza meydana gelmiştir [18]. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tahminlerine göre dünya çapında yaklaşık 400 milyon çalışan, ölümcül olmayan iş yaralanmalarına maruz kalmaktadır [21].

Güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamaya yönelik küresel çabaları artırmak amacıyla ILO Yönetim Kurulu, 2024-2030 yılları için yeni Küresel İş Güvenliği ve Sağlığı Stratejisini kabul etmiştir. Stratejinin amacı, ILO'nun sosyal adalet ve insana yakışır işin teşvik edilmesine olan bağlılık doğrultusunda güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamına yönelik temel hakkın dünya çapında teşvik edilmesi, saygı gösterilmesi ve aşamalı olarak gerçekleştirilmesidir. Söz konusu strateji, Türkiye'nin de 1932 yılından bu yana üyesi olduğu) ILO üyelerini üç ayak üzerinde hareket etmeye teşvik etmektedir.

- İlk olarak, yönetişimi geliştirerek, güvenilir verileri teşvik ederek ve yetkinlik oluşturarak ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı (İSG) çerçevelerini iyileştirmek,
- İkinci olarak, ulusal ve küresel düzeyde İSG alanında koordinasyon, ortaklıklar ve yatırımların güçlendirilmesi,
- Üçüncü olarak, işyeri İSG yönetim sistemlerinin geliştirilmesi, belirli tehlikelere, risklere, sektörlere ve mesleklere göre uyarlanması ve çalışma koşullarının çalışanların fiziksel ve ruhsal sağlığını nasıl etkileyebileceğinin dikkate alınması [21].

4. ENDÜSTRİYEL YANGIN VE PATLAMA VAKA ÖRNEKLERİ

4.1. Kozmetik Sanayi Yangın ve Patlama Vakası

Yaşanan kaza sonrası hazırlanan bilirkişi raporlarından edinilen bilgilere göre; 2025 yılında bir kozmetik sanayi üretim tesisinin alkol dolum/karıştırma kazanı çevresinde başlayan yangın, basınçlı buhar-yanıcı solvent etkisiyle patlamaya dönüşmüştür. Yangın ve patlama sonucu toplam 7 kişi hayatını kaybetmiş, 7 kişi de yaralanmıştır. Olayın genel gelişimi; parlayıcı solvent buharı birikimi, statik elektrik boşalması veya elektriksel temas kaynaklı ilk tutuşmanın kısa sürede geniş hacimli yanmaya dönüşmesi ve teknik güvenlik önlemlerinin (ex-proof ekipman, topraklama, havalandırma, dedektör, sprinkler vb.) eksikliği nedeniyle yangının kontrol edilemez şekilde büyüdüğünü tespit edilmiştir. Aralarında kamu görevlilerinin de bulunduğu 7 şüpheli hakkında 2 yıl 8 aydan 22 yıl 6 aya kadar hapis cezası talep edilmiştir [22-23].

4.2. Un Fabrikası Yangın ve Patlama Vakası

Fabrikanın paketleme bölümünde “hava basıncı kaynaklı” olarak başladığı iddia edilen patlamanın ardından 9 kişi yaralanmıştır. Un, nişasta vb gibi gıda işleme tesislerinde toz patlamaları ülkemizde çok sık meydana gelmektedir. Proses koşulları itibariyle önemli oranda ince partiküller halinde organik toz barındıran bu tip tesislerde temizlik ve hava/toz emiş sistemleri büyük önem taşımaktadır. Gerekli planlı bakım ve aksiyonların periyodik olarak yapılmaması sebebiyle söz konusu havada askıda bulunan yanıcı tozun belirli konsantrasyonlarda bulunması durumunda patlayıcı ortam oluşturulmaktadır. Tıkalı bir hattın hava basıncı etkisi ile temizlik/açılma girişimi suretiyle biriken tozun havada askı halinde asılı duruma getirilmesi ve kapalı alanda tutuşturucu kaynak ile birleşmesi sonucu patlamanın meydana geliş olasılığı kuvvetli bir ihtimal olarak görülmektedir. Sıcak yüzey veya sıcak partikül, elektrikli ekipmanlar ya da statik elektrik faktörlerinin tutuşmaya neden olabileceği üzerinde kanaatler getirilmektedir. Bu alanlarda ATEX Direktiflerine uygun patlama güvenlikli ex ekipman kullanılması en önemli gereklilikler arasında yer almaktadır [1].

4.3. Hububat Silosunda Yangın ve Patlama Vakası

Bünyesinde 60 adet hububat silosu bulunan ve 13 tanesinin kazada doğrudan etkilendiği bir tesiste, yaşanan patlama sonucu 2 kişi hayatını kaybetmiş, 10 kişi de yaralanmıştır. Kaza sonrası hazırlanan bilirkişi raporunda, yönetmelik gereği yılda 1 kez elektrik tesisatı ve topraklama tesisatı periyodik kontrollerinin yaptırılması gerektiği belirtilmiştir. Mezkur kontroller yaptırılmış ancak, uygunsuzlukların olduğu ve giderilmediği, elektrik tesisat kontrollerinin ise yaptırılmadığı tespit edilmiştir. Kazadan bir süre önce “Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik” kapsamında yaptırılan Patlamadan Korunma Dokümanı (PKD) raporunda ATEX toz patlaması ve yangın olmaması için gereklilikler belirlenirken, bu eksikliklerin giderilmediğine dikkat çekilmiştir. Kaza sonrası hazırlanan bilirkişi raporunda, tesisin içinde ve çevresinde toz nedenli patlama olmaması için uygunsuzlukların tespit edildiği, tesisteki elektrik ekipmanlarının ATEX’e göre uygun olmadığı ifadeleri yer almaktadır.

Soruşturmada adı yer alan 6 sanık hakkında “taksirle birden fazla kişinin ölümüne ve yaralanmasına neden olma” suçundan dava açılmış olup Ağır Ceza Mahkemesinde adli süreç devam etmiştir. Savcının esas hakkındaki mütalaasında; siloda güvenlik amacıyla yapılması gerekenlerin yerine getirilmemesi, toz birikimine müsaade edilmesi, yıllık olağan periyodik bakım ve toz temizliğinin yapılmaması suretiyle biriken hububat tozlarından kaynaklı “toz patlaması” gerçekleştiği belirtilmiştir. Söz konusu patlamayla ilgili olarak; 5 kişinin

asli kusurlu, taşeron firmanın ise tali kusurlu olduğu ifade edilmiştir. Mütalaada, ölümlerin ve yaralanmaların sanıkların ihmali kusurları nedeniyle meydana geldiği kaydedilmiştir. 6 sanık hakkında 2 yıldan 15'er yıla kadar hapis cezası talep edilmiştir [24-26].

4.4. Makarna Fabrikasında Yangın ve Patlama Vakası

Patlama sebebiyle 5 kişinin hayatını kaybettiği, 26 kişinin de yaralandığı kaza ardından tesiste yapılan incelemeler neticesinde hazırlanan bilirkişi raporlarında işletmeye ait patlamadan korunma dokümanı ve risk analizi eksikliklerine de yer verilmiştir. Bu bağlamda, işveren yükümlülüklerine aykırı hareketler sebebiyle işyeri yönetim kurulu başkanı birinci derecede sorumlu olarak gösterilmiştir.

PKD hazırlayıcısı 'belge hazırlanırken tesisin incelenmesi için yeterli zamanı ayırmadığı', 'bilimsel temelleri yeterince değerlendirilmediği', 'toz patlama riskinin en yüksek olduğu alanlarda teknolojik koruma önlemlerini öngörmeyerek riskinin görülmesine engel olduğu' gerekçesiyle patlamadan birinci derecede sorumlu olarak gösterilmiştir.

İş güvenliği uzmanı, 'tesis için hazırlanması zorunlu olan risk analizini, pkd ve makine ekipman periyodik kontrolünü tozlu çalışma ortamını dikkate almadan hazırladığı', 'temizlik ve bakım işlerinin daha etkin yapılma noktasındaki rehberlik sorumluluğunu yerine getirmediği' ve 'mevcut riskler (açık pano kapakları, tozlu ortam, toz biriktiren elektrik panoları) doğrultusunda işveren/işveren vekiline faaliyet durdurma önerilerini yapmadığı' için ikinci derece sorumlu olarak gösterilmiştir.

Dava kapsamındaki 6 sanıktan fabrika müdürü ve patlamadan korunma dokümanı hazırlayıcısına 11 yıl 8'er ay, iş güvenliği uzmanı, elektrik bakım sorumlusu ve değirmen sorumlusuna 8 yıl 4'er ay ile idari işler sorumlusuna 3 yıl 4 ay hapis cezası verilmiştir. 72 sayfalık gerekçede, mütalaa, sanık, müşteki ve tanık beyanları, bilirkişi, olay yeri ve itfaiye raporu, kamera kayıtları ile diğer belgelere yer verilmiştir. Kararda, fabrikada geçmişte de elektrik kaynaklı yangın meydana geldiği, elektrik sistemlerinde zaman zaman arıza ve kısa devrelerin yaşandığı belirtilmiştir.

Kararın gerekçesinde; enerji odasının fiziki konumunun uygunsuzluğu, panolarda ısınan havanın baca sistemiyle tahliye edildiği ancak temiz havanın oluşan negatif basınç nedeniyle açık bırakılan kapı yoluyla tozlu ortamdan geldiği ifade edilerek, panoların yeterli temiz hava alamadığından pano kapak ve odalarının açık bırakıldığının tespit edildiği bildirilmiştir. Gerekçeli kararda, yangına neden olan kaynak noktanın zemin katta bulunan elektrik panolarının olduğu, pano/elektrik kontrol odası olarak tanımlanan alanda kısa devre anında oluşan kıvılcımla başladığı ve ortamdaki un tozunun yoğun birikimi nedeniyle tutuşarak toz patlaması şeklinde yayıldığı belirtilmiştir [27-28].

5. SONUÇ

Endüstriyel tesislerde yaşanan yangın ve patlama vakalarının başlıca sebepleri arasında nerdeyse ilk sıralarda elektrik tesisat ve bileşenlerinin yer aldığı gerçeği, çeşitli kaza tutanakları kayıtlarında ve SGK istatistikleri başta olmak üzere, çok sayıdaki meslek örgütü raporlarında da alenen görülmektedir. Ayrıca bu istatistiki veri akışının ardışık yıllarda da değişmediği özellikle bilirkişi raporlarında ve çeşitli sigorta kurum ve kuruluşlarının yılsonu çalışma raporu beyanlarında da yer almaktadır. İl itfaiye müdürlükleri tarafından

müdahale sonrası zabıt altına alınan kaza oluş biçimi/kazaya sebep olan tutuşma kaynakları ve diğer kayıtlar da dikkate alındığında, yangın ve patlama vakalarının elektrik tesisatları merkezli bir süreç olduğu bilinmektedir.

Kaza faktörleri ile kaza aktörlerinin tespiti ve güvence altına alınması hususunda, kusursuz bir güvenlik politikasının gerçekleştirilmesi adına kaçınılmaz öncelik, mevzuatların ve standartların detaylı analizidir. Bu bağlamda, endüstriyel bir yangın ve patlamanın meydana gelmesinde doğrudan rol oynamış, kazaya dahil olmuş ve hatta kazanın öznesi haline gelmiş kişi, ekipman, cihaz vd unsurlar kazanın aktörüdür. Kaza faktörü ise, muhtemel bir yangın ve patlamanın meydana gelmesine ya da şiddetinin artmasına etki eden tüm unsurlar (genel olarak insan kusurları, teknik arızalar ve çevresel etkiler) olarak tarif edilebilir. Dolayısıyla, tüm muhtemel kaza aktör ve faktörlerini koruma kalkanı içine alabilmek adına endüstriyel tesislerde bilhassa elektriksel risk analizine büyük ehemmiyet gösterilmelidir.

Ulusal endüstriyel yangın ve patlama istatistikleri göz önünde tutulduğunda; yaşanan iş kazalarından çıkarılması gereken en kıymetli dersin, doğrudan ve dolaylı etkileri ile elektrik tesisatları ve ilgili tesisatla her ne sebeple olursa olsun illiyet bağı bulunan unsurların kapsamlı şekilde sorgulanması gereklidir. Bu sorgulama, elektriksel risk mühendisliği çözümleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Muhtemel endüstriyel yangın, patlama ve buna bağlı manevi ve maddi kayıpların yaşanmasının ardından değil, henüz bir kaza meydana gelmeden önce tesis genelindeki tüm elektriksel tehditler tespit edilmelidir. Gerekli önleyici aksiyonlar da mutlak suretle hızla alınmalıdır. Endüstriyel tesislerde elektriksel risk yönetiminin önemi her geçen gün daha kıymetli bir duruma dönüşmektedir. Konunun ve sürecin takibi için geç kalınan her anın, işletmeyi bekleyen çok daha büyük manevi ve maddi kayıpların çığ etkisi ile birikimi niteliği taşıdığı unutulmamalıdır. Tesis içindeki muhtemel elektriksel riskleri avlamak ve herhangi bir bahanenin ardına sığınmadan ideal aksiyonları almak, endüstriyel işletmelerin güvenli çalışma performansına katkı sunar.

6. KAYNAKLAR

[1] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2025 Yılı Raporu, 2026.

[2] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2024 Yılı Raporu, 2025.

[3] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2023 Yılı Raporu, 2024.

[4] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2022 Yılı Raporu, 2023.

[5] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2021 Yılı Raporu, 2022.

[6] TMMOB Kimya Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
Endüstriyel Yangınlar ve Patlamalar 2020 Yılı Raporu, 2021.

[7] Belirli Gerilim Sınırları İçin Tasarlanan Elektrikli Ekipman İle İlgili Yönetmelik,
T.C. Resmi Gazete, 29845, 02 Ekim 2016.

[8] NFPA 77, Statik Elektrikle İlgili Tavsiye Edilen Uygulamalar, 2024.

[9] Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 28633, 30 Nisan 2013.

[10] İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 28512, 29 Aralık 2012.

[11] https://www.iecex.com/resources-and-news/standards/

[12] IEC 60079-0, Patlayıcı Ortamlar, Genel Gereksinimler, 2026.

[13] IEC 60079-14, Patlayıcı Ortamlar, Elektrik Tesisatlarının Tasarımı, Ekipman Seçimi Ve Montajı, İlk İnceleme Dahil, 2024.

[14] IEC 60079-17, Patlayıcı Ortamlar, Elektrik Tesisatlarının Muayenesi Ve Bakımı, 2023.

[15] IEC 60079-19, Patlayıcı Ortamlar, Ekipman Onarımı, Revizyonu Ve Geri Kazanımı, 2025.

[16] **Pekeroğlu Y.,** İş Sağlığı ve Güvenliği Sözlüğü, Mavi Bilge Yayınları, Kocaeli, 2015.

[17] Avrupa İş Kazaları İstatistikleri (ESAW), https://ec.europa.eu/eurostat/

[18] **Pekeroğlu Y.,** Çalışma Hayatı Temel Kanunları, Mavi Bilge Yayınları, Kocaeli, 2016.

[19] Sosyal Güvenlik Kurumu 2025 İstatistik Yıllığı, https://www.sgk.gov.tr/istatistik/yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/

[20] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028), İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışma Grubu Raporu, 2023.

[21] Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), https://www.ilo.org/tr/resource/news/yakla%C5%9F%C4%B1k-3--milyon-ki%C5%9Fi-i%C5%9F-kazalar%C4%B1-ve-meslek-hastal%C4%B1klar%C4%B1-nedeniyle

[22] T.C. Gebze Cumhuriyet Başsavcılık Makamına Bilirkişi Heyet Raporu, Dosya No:2025/39499, https://gazetedilovasi.com/wp-content/uploads/2025/12/Bilirki%C5%9Fi-raporu.pdf

[23] https://www.iha.com.tr/kocaeli-haberleri/ravive-kozmetik-yangini-iddianamesi-hazirlandi-kamu-gorevlilerine-22-yil-6-aya-kadar-hapis-talebi-457278358

[24] https://www.ntv.com.tr/turkiye/tmo-silolarindaki-patlama-davasi-saniklara-15-yila-kadar-hapis-talebi-1711533

[25] https://www.dha.com.tr/foto-galeri/tmo-silolarindaki-patlamanin-bilirkisi-raporu-kontroller-yapildi-ancak-uygunsuzluklar-giderilmedi-2373817/11

[26] https://www.tv5.com.tr/silolarda-yasanan-patlamada-tmo-ile-taseron-firma-yetkilileri-asli-kusurlu-bulundu

[27]§https://www.aa.com.tr/tr/gundem/sakaryada-5-kisinin-oldugu-makarna-fabrikasindaki-patlamada-toz-birikimi-yangini-buyutmus/3733582

[28] https://bianet.org/haber/oba-makarnada-ihmal-oldurmus-302854

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ferit PEKEROĞLU

2001 yılında başlamış olduğu Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümününden mezun olmuştur.

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır.

Anadolu Üniversitesi Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Acil Durum ve Afet Yönetimi programından da mezun olmuştur. Kurucu ortağı olduğu MAVİ BİLGE Mühendislik Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti. ve ELPEK Mühendislik Elektriksel Periyodik Kontroller işletmelerinde risk mühendisliği, danışmanlık ve bilirkişilik yapmaktadır. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi Eğitim ve İş Güvenliği komisyonlarında uzun yıllar aktif görev alan PEKEROĞLU, EMO Kocaeli Şubesi 14. Dönem Yürütme Kurulu üyeliği görevini üstlenmiştir. İş Güvenliği Uzmanlığı sertifikasına sahip olup, Türkiye'de ilk kez 2010 yılında hayata geçirdiği ERA Elektriksel Risk Analizi özgün modeli ile endüstriyel tesislerde elektriksel güvenlik kültürünün yaygınlaşması adına Risk Mühendisliği çalışmalarını sürdürmektedir. Elektrik fenni denetim, iş güvenliği ve risk yönetimi konularında sekiz yüzü aşkın endüstriyel sanayi tesisinde kontrol ve danışmanlık faaliyetlerinde aktif rol üstlenmiştir. EPG Elektriksel Proses Güvenliği başlığı altında da, bilhassa kimya sanayi genelinde elektrik kaynaklı yangın risklerinin analizi ve emniyetli çalışma ortamlarının tesis edilmesi üzerine akademik katkılarını da sürdürmektedir.

Nurcan PEKEROĞLU

Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği 2003 yılı mezunu olup, ŞİŞECAM, TÜRK HENKEL, ABB ELEKTRİK, DUBAİ PORT, BOSAL, GEA KLİMA, SARKUYSAN gibi farklı sektörel büyük firmalarda endüstri mühendisliği, üretim planlama, verimlilik yönetimi ve sürdürülebilirlik uygulamalarının yanı sıra entegre yönetim sistemleri alanlarında çok sayıda özgün projelere imza atmıştır. Ulusal ve uluslararası kongrelerde, sempozyumlarda proje, makale, bildiriler sunmuş, halihazırda MAVİ BİLGE Mühendislik Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti. bünyesinde eğitim yönetim koordinatörlüğü ve danışmanlık pozisyonlarında görev yapmaktadır. Evli ve bir oğul annesidir.

RAFİNERİLERDE YANGIN RİSKLERİNİN YÖNETİMİNDE PROSES EMNİYETİ YAKLAŞIMI: HAZOP'TAN OPERASYONA ENTEGRE BİR MODEL

Kübra ERDEN

ÖZET

Rafineriler, yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan, büyük miktarda yanıcı, parlayıcı ve patlayıcı madde envanteri içeren karmaşık proses tesisleridir. Bu tesislerde yangınlar çoğunlukla tek başına başlayan olaylar değil, proses sapmaları, ekipman bütünlüğü kayıpları, insan hataları, enstrümantasyon arızaları veya değişiklik yönetimi eksiklikleri sonucunda oluşan içerik kaybının tutuşmasıyla gelişen olaylardır. Bu çalışmada, rafinerilerde yangın risklerinin yönetimi için HAZOP ile başlayan ve operasyona kadar uzanan entegre bir proses emniyeti modeli sunulmaktadır. Model; tehlike tanımlama, bariyer değerlendirme, kantitatif risk analizi, büyük kaza senaryo değerlendirmesi, değişiklik yönetimi, devreye alma öncesi emniyet incelemesi, mekanik bütünlük, operasyonel disiplin ve performans göstergelerinin izlenmesi adımlarını kapsamaktadır. Çalışmanın temel amacı, yangın güvenliğinin yalnızca aktif ve pasif yangın koruma sistemleri ile sınırlı olmadığını; proses emniyeti yönetim sisteminin bütünleşik bir çıktısı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktır. Önerilen yaklaşım, yangın senaryolarının tehlike analizi aşamasından günlük işletmeye kadar izlenebilirliğini sağlayarak büyük endüstriyel kazaların önlenmesine katkı sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Proses Emniyeti, Rafineri, Yangın Riski, HAZOP, Koruma Katmanları Analizi LOPA, MOC

A PROCESS SAFETY-BASED APPROACH TO MANAGING FIRE RISKS IN REFINERIES: AN INTEGRATED MODEL FROM HAZOP TO OPERATIONS

ABSTRACT

Refineries are complex process facilities operating with large inventories of flammable and combustible materials under high-temperature and high-pressure conditions. In such facilities, fires are generally not isolated initiating events; they often occur as the consequence of loss of containment caused by process deviations, equipment integrity failures, human errors, instrumentation failures, or weaknesses in change management. This study presents an integrated process safety model for managing fire risks in refineries, starting from HAZOP and extending to daily operations. The proposed model includes hazard identification, barrier evaluation, quantitative risk assessment, major accident scenario evaluation, management of change, pre-startup safety review, mechanical integrity, operational discipline, and process safety performance monitoring. The main objective of the study is to demonstrate that fire safety should not be limited to active and passive fire protection systems, but should be treated as an integrated output of the process safety management system. The proposed approach provides traceability of fire scenarios from hazard analysis to operational execution and supports the prevention of major industrial accidents.

Keywords: Process Safety, Refinery, Fire Risk, HAZOP, Layer of Protection Analysis LOPA, MOC

1. GİRİŞ

Rafinerilerde yangın riski, prosesin doğası gereği sürekli mevcut olan temel tehlikelerden biridir. Ham petrolün ayrıştırılması, dönüştürülmesi, arıtılması, depolanması ve transfer edilmesi sırasında farklı uçuculuk, yanıcılık ve reaktivite özelliklerine sahip çok sayıda hidrokarbon akımı yüksek enerji koşullarında işlenmektedir. Bu nedenle rafinerilerde yangın güvenliği, yalnızca yangın meydana geldikten sonra uygulanacak müdahale stratejileri ile değil, yangına neden olabilecek proses sapmalarının önceden belirlenmesi ve kontrol altına alınması ile sağlanabilir.

Geleneksel yangın güvenliği yaklaşımı; yangın suyu sistemleri, köpük sistemleri, deluge sistemleri, yangın algılama ve söndürme ekipmanları gibi aktif ve pasif koruma unsurlarına odaklanmaktadır. Bu unsurlar yangının etkilerinin azaltılmasında kritik öneme sahiptir. Ancak rafineri yangınlarının kök nedenleri incelendiğinde, birçok olayın başlangıcında proses değişkenlerindeki sapmalar, ekipman bütünlüğünün bozulması, kontrol sistemlerinin istenen fonksiyonu yerine getirememesi, alarm yönetimi zayıflıkları veya insan faktörleri bulunmaktadır.

Bu nedenle yangın güvenliği, proses emniyeti yönetim sisteminin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır. Proses emniyeti yaklaşımı, yangını yalnızca sonuç olarak değil, yangına götüren olay zincirinin yönetilmesi gereken bir çıktısı olarak değerlendirir. Bu çalışmada rafinerilerde yangın risklerinin yönetimi için HAZOP çalışmaları ile başlayan ve operasyonel uygulamalara kadar uzanan bütünleşik bir model önerilmektedir.

2. RAFİNERİLERDE YANGIN RİSKİNİN PROSES EMNİYETİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rafinerilerde yangın oluşum mekanizması genel olarak aşağıdaki olay zinciri ile açıklanabilir:

Proses Sapması → Kontrol Kaybı → İçerik Kaybı → Tutuşma → Yangın / Patlama

Bu zincirde yangın, çoğunlukla birincil olay değil, birincil olayın sonucudur. Bir proses ekipmanında yüksek basınç oluşması, bir pompa salmastrasında kaçak meydana gelmesi, bir tankın taşması, bir kontrol vanasının hatalı pozisyonda kalması, bir basınç boşaltma sisteminin yetersiz kalması veya bir devreye alma işlemi sırasında drenaj vanasının açık unutulması, içerik kaybı ile sonuçlanabilir. Açığa çıkan hidrokarbonun uygun bir ateşleme kaynağı ile karşılaşması durumunda jet yangını, havuz yangını, ani parlama veya buhar bulutu patlaması meydana gelebilir.

Rafineri proseslerinde yangın riskini artıran başlıca faktörler aşağıda özetlenmiştir:

- Yanıcı ve parlayıcı madde envanterinin yüksek olması,
- Proses koşullarının yüksek sıcaklık ve basınç içermesi,
- Hidrojen, LPG, nafta, benzin ve hafif hidrokarbon sistemlerinin bulunması,
- Sıcak yüzeyler, fırınlar ve elektriksel ekipmanlar gibi ateşleme kaynaklarının varlığı,
- Devreye alma, devreden çıkarma, rejenerasyon, bakım sonrası devreye alma gibi rutin olmayan operasyonların karmaşıklığı,
- Yoğun enstrümantasyon, alarm ve operatör müdahalesi gerektiren proses yapısı,
- Ekipman yerleşimi ve komşu ünitelerden kaynaklanabilecek domino etkiler.

Bu çerçevede yangın risk yönetimi, yalnızca yangına müdahale kapasitesini artırmakla sınırlı kalmamalıdır. Asıl hedef, yangına yol açabilecek içerik kaybı senaryolarının önlenmesi ve koruyucu bariyerlerin yaşam döngüsü boyunca etkin tutulması olmalıdır.

3. HAZOP TABANLI YANGIN SENARYOSU GELİŞTİRME

HAZOP, rafineri proseslerinde yangın ve patlama risklerinin sistematik olarak belirlenmesinde en yaygın kullanılan proses tehlike analizi yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde proses, tasarım amacı doğrultusunda belirli node'lara ayrılır ve her node için proses parametreleri rehber kelimeler yardımıyla değerlendirilir.

HAZOP çalışmalarında yangın senaryolarına götürebilecek başlıca sapmalar aşağıda verilmiştir:

- Yüksek/düşük basınç,
- Akışın kesilmesi/fazla akış,
- Yüksek/düşük seviye,
- Yüksek/düşük sıcaklık,
- Ters akış/yanlış yönlendirilmiş akış
- Yardımcı servisler kaybı,

Bu sapmaların her biri yangın riski açısından farklı sonuçlara yol açabilir. Örneğin yüksek basınç, ekipman tasarım limitlerinin aşılması ve flanş veya conta kaçakları ile sonuçlanabilir. Düşük seviye, pompa emiş kaybına, pompa hasarına ve salmastra kaçağına neden olabilir. Yüksek sıcaklık, hidrokarbonun kendiliğinden tutuşma sıcaklığına yaklaşmasına veya malzeme dayanımının azalmasına yol açabilir. Yardımcı servis kayıpları ise soğutma, enstrüman havası, elektrik beslemesi veya inertleme sistemlerinin devre dışı kalması nedeniyle yangın senaryolarını tetikleyebilir.

HAZOP yaklaşımının yangın risk yönetimindeki en önemli katkısı, yangını bağımsız bir olay olarak değil, proses sapmalarının sonucu olarak tanımlamasıdır. Böylece yangın senaryosu yalnızca "ne yanar?" sorusu üzerinden değil, "hangi sapma, hangi nedenle, hangi bariyerler başarısız olduğunda yangına dönüşür?" sorusu üzerinden değerlendirilir.

4. GLOBAL NODE YAKLAŞIMI VE DOMİNO ETKİLER

Rafinerilerde yangın riskleri yalnızca tek bir ekipman veya tek bir proses hattı ile sınırlı değildir. Elektrik kesintisi, soğutma suyu kaybı, enstrüman havası kaybı, yıldırım, deprem, sel, komşu ünitedeki yangın veya yakındaki bir tesiste meydana gelen patlama gibi dışsal ve ortak nedenli olaylar birden fazla sistemi aynı anda etkileyebilir.

Bu nedenle HAZOP çalışmalarında yalnızca ekipman bazlı node'lar değil, tesis geneline etki edebilecek global node'lar da değerlendirilmelidir. Global node yaklaşımı ile meteorolojik ve jeolojik tehlikeler, yardımcı servis kesintileri, kritik enstrümantasyon arızaları, üniteler arası etkileşimler, komşu tesis etkileri, taşımacılık kaynaklı riskler ve acil durum müdahale erişim kısıtları sistematik olarak incelenebilir.

Bu yaklaşım özellikle domino etkilerinin değerlendirilmesinde önemlidir. Bir ünitede başlayan hidrokarbon yangını, yakın ekipmanlarda termal radyasyon etkisiyle basınç artışına, boru hattı hasarına, tank zayıflamasına veya personel erişiminin kısıtlanmasına neden olabilir. Bu nedenle yangın risk yönetimi, yalnızca başlangıç ekipmanı ile sınırlı kalmadan tesis yerleşimi, acil durum erişimi ve komşu ekipman etkilerini de kapsamalıdır.

5. BARİYER YÖNETİMİ VE KORUMA KATMANLARI

Yangın risklerinin azaltılmasında bariyer yönetimi temel bir unsurdur. Bariyerler, istenmeyen olayın oluşmasını önleyen veya olayın sonuçlarını azaltan fiziksel, enstrümantasyonel ya da organizasyonel kontrollerdir.

5.1. Önleyici Bariyerler

Önleyici bariyerler, içerik kaybının veya tutuşma koşullarının oluşmasını engellemeyi hedefler. Temel proses kontrol sistemi, alarm ve operatör müdahalesi, emniyet enstrümanlı sistemler, acil durdurma sistemleri, basınç emniyet vanaları, basınç boşaltma ve flare sistemleri (sistemden tahliye edilmesi istenen fazla gazın yakılması için kullanılan meşale) inertleme sistemleri, mekanik bütünlük programları, değişiklik yönetimi ve işletme prosedürleri bu grupta değerlendirilebilir.

5.2. Azaltıcı Bariyerler

Azaltıcı bariyerler, olay meydana geldikten sonra sonuçların büyümesini engellemeyi amaçlar. Yangın ve gaz algılama sistemleri, deluge sistemleri, köpük sistemleri, yangına dayanıklı kaplama, dayklar ve drenaj sistemleri, patlama duvarları, acil durum müdahale ekipleri, tahliye ve izolasyon prosedürleri bu grupta yer alır.

Bir bariyerin etkin kabul edilebilmesi için belirli kriterleri sağlaması gerekir. Bariyer; ilgili tehlikeye özgü olmalı, başlatıcı olaydan bağımsız çalışmalı, güvenilir olmalı ve periyodik olarak test edilebilir veya denetlenebilir olmalıdır. Bu kriterleri sağlamayan kontroller, yangın riskinin azaltılmasında destekleyici unsur olarak değerlendirilebilir; ancak bağımsız koruma katmanı olarak kredi verilmesi uygun olmayabilir.

6. HAZOP'TAN KANTİTATİF RİSK ANALİZİNE GEÇİŞ

HAZOP çalışmaları yangın senaryolarını tanımlamak için güçlü bir başlangıç sağlar. Ancak yüksek sonuç potansiyeline sahip senaryolarda yalnızca nitel veya yarı nicel değerlendirme yeterli olmayabilir. Bu durumda HAZOP çıktıları, kantitatif risk analizlerine girdi oluşturur.

Kritik yangın ve patlama senaryoları için aşağıdaki analiz zinciri uygulanabilir:

Tehlike Tanımlama → HAZOP → Hata Ağacı Analizi → Olay Ağacı Analizi → Sonuç Modelleme → Acil Durum Planı

Bu zincirde HAZOP, sapma, neden ve sonuç ilişkisini ortaya koyar. LOPA, mevcut koruma katmanlarının yeterliliğini değerlendirir. Hata Ağacı Analizi, içerik kaybına neden olabilecek başlatıcı olayları ve bariyer başarısızlıklarını kantitatif olarak inceler. Olay Ağacı Analizi ise içerik kaybı sonrasında ani tutuşma, gecikmiş tutuşma, yangın, patlama veya toksik yayılım gibi sonuçların olasılığını değerlendirir.

Sonuç modelleme çalışmaları ile jet yangını, havuz yangını, buhar bulutu patlaması veya toksik yayılımın etki mesafeleri belirlenebilir. Bu çıktılar, acil durum müdahale planlarının hazırlanması, tatbikat senaryolarının oluşturulması, yangın suyu ihtiyacının gözden geçirilmesi ve tesis yerleşimi kararlarının desteklenmesi açısından önemlidir.

6.1. Hata Ağacı Analizi (FTA) ile Yangın Senaryolarının Kök Nedenlerinin Belirlenmesi

HAZOP çalışmaları sırasında belirlenen kritik yangın ve patlama senaryolarının daha ayrıntılı değerlendirilmesi amacıyla Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis, FTA) kullanılmaktadır. FTA, belirli bir istenmeyen olayın meydana gelmesine neden olabilecek ekipman arızaları, insan hataları ve sistem başarısızlıklarının mantıksal ilişkiler yardımıyla modellenmesine dayanan tümdengelimsel bir analiz yöntemidir.

Örneğin bir hidrojen hattında meydana gelebilecek jet yangını senaryosunda üst olay "Hidrojen Kaçağı Sonucu Yangın" olarak tanımlanabilir. Bu olayın altında;

- aşırı basınç,

- korozyon,
- yanlış vana müdahalelesi,
- enstrümantasyon hataları gibi temel nedenler yer almaktadır.

FTA sonuçları sayesinde yangına neden olabilecek kritik zayıflıklar belirlenebilmekte, mevcut bariyerlerin güvenilirliği değerlendirilebilmekte ve ilave risk azaltıcı önlemler tanımlanabilmektedir.

6.2. Olay Ağacı Analizi (ETA) ile Yangın ve Patlama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yangın risklerinin değerlendirilmesinde yalnızca olayın nasıl meydana geldiğinin bilinmesi yeterli değildir. Aynı zamanda olayın gerçekleşmesinden sonra hangi senaryoların gelişebileceğinin de analiz edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis, ETA) kullanılmaktadır.

Olay Ağacı, belirlenen kaza senaryo sıklıklarını kullanarak koruyucu bariyerlerin çalışması veya çalışmamasına bağlı olarak meydana gelme ihtimali olan olayların şema halinde gösterimini sağlayan metodolojidir. ETA sonucunda belirlenen son olay, seri halinde meydana gelen arıza veya hataların neden olduğu istenmeyen olaydır. Başlangıç olayının meydana gelme sıklığı ile koruyucuların hata yapma olasılığını kullanılarak istenmeyen olayın meydana gelme sıklığı kantitatif olarak hesaplanmaktadır. Özetle, ETA, belirli bir başlangıç olayından sonra koruma katmanlarının başarılı veya başarısız olması durumuna göre oluşabilecek farklı sonuç yollarını değerlendiren tümevarımsal bir yöntemdir.

ETA sayesinde yangın oluşma olasılıkları, patlama olasılıkları, koruma katmanlarının etkinliği, acil durum sistemlerinin katkısı, kalan risk seviyesi nicel olarak değerlendirilebilmektedir. Bu analizler özellikle büyük endüstriyel kaza senaryolarının değerlendirilmesinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

6.3. Sonuç Modellemesi (Consequence Modelling)

Yangın risk yönetimi yalnızca olay frekansının değil, olayın meydana gelmesi durumunda ortaya çıkabilecek etkilerin de değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla sonuç modelleme çalışmaları yürütülmektedir. Senaryo modellemesi yapılmasının amacı, proses kontrolünün kaybedilmesi ve tehlikeli olayların istenmeyen sonuçlarının etki alanı, sağlık ve çevre üzerindeki etkilerinin belirlenmesini sağlar. Modelleme çalışmasının çıktılarıyla Acil Durum Müdahale Planları ve yıl içerisinde gerçekleştirilecek Acil Durum Tatbikat Senaryoları hazırlanır.

ETA dan gelen senaryoların meydana gelme olasılığı 10^{-6}/yıl'dan daha yüksek olan olaylar ve risk değerlendirme sonucunda senaryo modellemesi yapılır. Modelleme sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

- Modellenen senaryo için toksik konsantrasyon, yüksek basınç, ısıl etki alanları/ mesafeleri
- Meydana gelebilecek tehlikeli bir olayın saha çalışanları üzerindeki emniyet ve sağlıkla ilgili sonuçları, etki alanında kalacak yerel halk ve potansiyeli yüksek olan olayın şiddeti ve türü hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

Sonuç modelleme analizleri kapsamında aşağıdaki senaryolar incelenmektedir:

- Jet Yangınları
- Havuz Yangınları (Pool Fire)
- Buhar Bulutu Patlamaları (VCE)
- Domino Etkileri

Sonuç modelleme çalışmaları sayesinde tesis yerleşimi, acil durum planlaması, yangın suyu kapasitesi ve ilave koruma gereksinimleri daha etkin şekilde değerlendirilebilmektedir.

6.4. HAZOP, FTA, ETA ve Sonuç Modellemesi Entegrasyonu

Yangın risklerinin etkin yönetimi için HAZOP, FTA, ETA ve sonuç modelleme çalışmalarının birbirinden bağımsız faaliyetler olarak değil, bütünleşik bir süreç olarak ele alınması gerekmektedir.

Bu yaklaşım sayesinde yangın riskleri yalnızca tasarım aşamasında değil, tesisin tüm yaşam döngüsü boyunca izlenebilir hale gelmektedir. HAZOP senaryoların tanımlanmasını, FTA kök nedenlerin belirlenmesini, ETA olası gelişim yollarının değerlendirilmesini ve sonuç modelleme çalışmaları ise olayların fiziksel etkilerinin ortaya konulmasını sağlamaktadır. Böylece yangın risk yönetimi, proaktif ve veri temelli bir süreç haline dönüşmektedir. Bu yaklaşım sayesinde yangın riskleri yalnızca tehlike tanımlama aşamasında değil, tasarım, işletme ve değişiklik yönetimi süreçleri boyunca izlenebilir hale gelmektedir.

7. DEĞİŞİKLİK YÖNETİMİ VE PSSR'IN YANGIN RİSKİNE ETKİSİ

Rafinerilerde yangın risklerinin önemli bir bölümü değişiklikler sırasında veya değişikliklerin yeterince değerlendirilmemesi sonucunda ortaya çıkabilir. Geçici tamirler, bypass uygulamaları, ekipman değişimleri, proses parametre değişiklikleri, kontrol mantığı revizyonları, alarm set değerlerindeki değişimler veya bakım sonrası hatalı devreye alma işlemleri yangın riskini etkileyebilir.

Değişiklik Yönetimi, bu tür değişikliklerin teknik, operasyonel ve emniyet etkilerinin uygulama öncesinde değerlendirilmesini sağlar. Bu kapsamda değişikliğin yeni bir yangın veya patlama senaryosu oluşturup oluşturmadığı, mevcut HAZOP senaryolarını etkileyip etkilemediği, yangın ve gaz algılama kapsamasını değiştirip değiştirmediği, ESD (acil durdurma sistemleri), SIS (güvenlik enstrümanları sistemler) veya alarm fonksiyonlarına etkisi, relief (basınç boşaltma) sistemi kapasitesi, flare yükü, operasyon prosedürleri ve personel bilgilendirme ihtiyacı değerlendirilmelidir.

PSSR (pre-start up safety review) ise değişikliğin veya yeni tesisin devreye alınmasından önce emniyet gereklerinin sahada doğrulanmasını sağlar. Bu yönüyle PSSR, HAZOP ve MOC (management of change) çıktılarının operasyon öncesi son kontrol noktasıdır. Yangın ve gaz algılama sistemlerinin devrede olması, kritik alarmların ve ESD fonksiyonlarının test edilmiş olması, izolasyon ve drenaj noktalarının doğru pozisyonda olması, yangınla mücadele erişimlerinin açık olması ve geçici bypass veya geçici tamiratların kontrol altında tutulması PSSR kapsamında önemlidir.

8. MEKANİK BÜTÜNLÜK VE OPERASYONEL DİSİPLİN

Yangınların önlenmesinde mekanik bütünlük programları merkezi bir rol oynar. Boru hatları, basınçlı kaplar, pompalar, kompresörler, tanklar, emniyet vanaları, yangın ve gaz dedektörleri, ESD sistemleri ve diğer emniyet kritik ekipmanlar periyodik olarak kontrol edilmeli, test edilmeli ve bakım faaliyetleri izlenmelidir.

Mekanik bütünlük kaybına bağlı yangın senaryoları; pompa mekanik salmastra kaçağı sonucu havuz yangını, yüksek basınç nedeniyle flanş veya conta kaçağı, korozyon kaynaklı boru hattı delinmesi, tank taşması sonucu yanıcı sıvı döküntüsü, fırın çevresinde hidrokarbon sızıntısı veya kompresör arızası sonucu hidrojen kaçağı ve yangın gibi olaylarla açıklanabilir.

Bununla birlikte yalnızca teknik ekipman bütünlüğü yeterli değildir. Operasyonel disiplin, yangın risklerinin kontrolünde en az teknik bariyerler kadar önemlidir. Prosedürlerin doğru uygulanması, vardiya devirlerinde kritik bilgilerin aktarılması, alarm yönetiminin etkinliği, operatör eğitimleri, saha kontrolleri ve rutin

olmayan operasyonların sistematik değerlendirilmesi yangın risklerini doğrudan etkiler.

Özellikle devreye alma, devreden çıkarma, rejenerasyon, katalist değişimi, numune alma, bakım sonrası devreye alma ve geçici operasyon modları için prosedürel tehlike analizleri yapılmalıdır. Bu operasyonlarda normal proses emniyeti bariyerlerinin bir kısmı bypass edilmiş veya devre dışı olabilir. Bu nedenle rutin olmayan operasyonlar, yangın risk yönetiminin en kritik halkalarından biridir.

9. PROSES EMNİYETİ PERFORMANS GÖSTERGELERİ İLE YANGIN RİSKİNİN İZLENMESİ

Yangın güvenliği performansı yalnızca gerçekleşen yangın sayısı ile ölçülmemelidir. Çünkü büyük yangınlar nadir olaylardır ve yalnızca geçmiş olaylara bakarak riskin düşüp düşmediğini anlamak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle hem gecikmeli göstergeler hem de öncü göstergeler birlikte izlenmelidir. Bu göstergelerin düzenli olarak izlenmesi, yangın risklerinin gerçekleşmeden önce yönetilmesine olanak sağlar. Özellikle HAZOP aksiyonları, mekanik bütünlük kontrolleri, bypass uygulamaları ve MOC/PSSR takipleri, yangın riskinin öncü göstergeleri olarak değerlendirilebilir.

10. TARTIŞMA

Çalışmada önerilen model, yangın güvenliğinin proses emniyeti yönetim sisteminden bağımsız düşünülemeyeceğini göstermektedir. Rafinerilerde yangınla mücadele sistemleri güçlü olsa bile, içerik kaybına yol açan kök nedenler ortadan kaldırılmadığı sürece yangın riski devam eder. Bu nedenle yangın risk yönetiminde temel hedef, yangına müdahale etmekten önce yangına yol açabilecek sapmaları önlemektir.

HAZOP çalışmaları yangın senaryolarını tanımlamak için güçlü bir araçtır; ancak HAZOP çıktılarının sahaya yansıması sağlanmadığında çalışma yalnızca dokümantasyon faaliyeti olarak kalabilir. Bu nedenle HAZOP tavsiyelerinin aksiyon takibi, MOC (değişiklik yönetim sistemi) süreçleriyle entegrasyonu, PSSR sırasında doğrulanması ve mekanik bütünlük programları ile desteklenmesi gereklidir.

Benzer şekilde, yangın ve gaz algılama sistemleri, deluge sistemleri, köpük sistemleri veya yangına dayanıklı kaplamalar önemli azaltıcı bariyerlerdir. Ancak bu sistemlerin tasarımda var olması yeterli değildir. Periyodik test, bakım, erişilebilirlik, devre dışı kalma yönetimi, bypass kontrolü ve performans izleme süreçleri ile etkinlikleri sürdürülebilir hale getirilmelidir.

Bu bütünleşik yaklaşım, yangın güvenliğini reaktif bir müdahale alanı olmaktan çıkarıp proaktif bir proses emniyeti yönetim alanına dönüştürmektedir.

11. SONUÇ

Bu çalışmada rafinerilerde yangın risklerinin yönetimi için HAZOP'tan operasyona uzanan entegre bir proses emniyeti modeli önerilmiştir. Model, yangın risklerinin yalnızca aktif ve pasif yangın koruma sistemleri ile değil, proses emniyeti yönetim sisteminin tüm elemanları ile yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Rafinerilerde yangınlar çoğunlukla proses sapmaları ve içerik kayıpları sonucunda gelişmektedir. Bu nedenle yangın risk yönetiminin başlangıç noktası tehlike tanımlama çalışmalarıdır.
- HAZOP çalışmaları, yangın senaryolarının sistematik olarak belirlenmesinde temel araçtır. Ancak HAZOP çıktılarının LOPA, FTA, ETA ve sonuç modelleme çalışmaları ile desteklenmesi kritik senaryoların daha doğru değerlendirilmesini sağlar.
- HAZOP yangın senaryolarının tanımlanmasını sağlarken, FTA senaryoların kök nedenlerini, ETA olası

gelişim yollarını ve sonuç modelleme çalışmaları ise yangın ve patlamaların potansiyel etkilerini ortaya koymaktadır. Bu nedenle söz konusu yöntemlerin birbirini tamamlayan entegre bir risk yönetim yaklaşımı olarak uygulanması kritik öneme sahiptir.

- Bariyer yönetimi, yangın risklerinin azaltılmasında merkezi öneme sahiptir. Bariyerlerin bağımsız, güvenilir ve denetlenebilir olması gerekir.
- MOC (değişiklik yönetim sistemi) ve PSSR (devreye alma öncesi emniyet kontrolleri) süreçleri, HAZOP ile belirlenen yangın risklerinin değişiklikler ve devreye alma faaliyetleri sırasında kontrol altında tutulmasını sağlar.
- Mekanik bütünlük ve operasyonel disiplin, içerik kayıplarının önlenmesinde kritik rol oynar.
- Yangın güvenliği performansı yalnızca meydana gelen yangın olaylarıyla değil, HAZOP aksiyonları, MOC/PSSR takipleri, bypasslar, SIS (safety instrument system) arızaları, içerik kaybı olayları ve kritik ekipman performansı gibi proses emniyeti göstergeleri ile izlenmelidir.

Sonuç olarak rafinerilerde sürdürülebilir yangın güvenliği, yangınla mücadele kapasitesinin ötesinde, güçlü bir proses emniyeti kültürü ve yaşam döngüsü boyunca etkin çalışan bir proses emniyeti yönetim sistemi gerektirir.

12. KAYNAKLAR

[1] CCPS, “Guidelines for Hazard Evaluation Procedures”, AIChE, New York.

[2] CCPS, “Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment”, AIChE, New York.

[3] OSHA, “Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals”, 29 CFR 1910.119.

[4] API Recommended Practice 754, “Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries”, American Petroleum Institute.

[5] Dow Chemical Company, “Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide”.

[6] TNO, “Purple Book: Guidelines for Quantitative Risk Assessment”.

[7] NFPA, “Fire Protection Handbook”, National Fire Protection Association.

[8] IEC 61511, “Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector”.

[9] Center for Chemical Process Safety, “Guidelines for Risk Based Process Safety”, AIChE.

[10] Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Kübra ERDEN

Kübra Erden, proses emniyeti, proses tehlike analizleri, HAZOP liderliği, büyük endüstriyel kaza risklerinin değerlendirilmesi, değişiklik yönetimi, ön devreye alma emniyet incelemeleri ve operasyonel risk yönetimi konularında çalışmalar yürütmektedir. Rafineri proseslerinde yangın, patlama ve toksik yayılım senaryolarının belirlenmesi, koruma bariyerlerinin değerlendirilmesi, proses emniyeti performans göstergelerinin izlenmesi ve sürekli iyileştirme faaliyetleri alanlarında deneyime sahiptir. Halen proses emniyeti alanında kıdemli mühendis olarak görev yapmaktadır.

ADR MEVZUATI KAPSAMINDA YANICI KİMYASAL LOJİSTİK DEPOLARINDA YANGIN GÜVENLİĞİ

Ahmet DEMİR

ÖZET

Bu çalışmada, ADR mevzuatı kapsamında yer alan ADR Sınıf 3 (Yanıcı Sıvılar), ADR Sınıf 4 (Yanıcı Katılar) ve ADR Sınıf 5 (Oksitleyiciler) tehlikeli kimyasal maddelerin lojistik depolama süreçlerindeki yangın güvenliği incelenmektedir. Yanıcı ve oksitleyici depolama alanlarında yangın; telafisi güç mal kayıplarına, büyük ölçekli çevresel felaketlere ve iş sağlığı güvenliği krizlerine yol açma potansiyeli taşımaktadır.

Yanıcı kimyasal maddelerin depolandığı lojistik depolarında, yapısal bütünlüğü koruyan pasif yangın önlemleri, saniyeler içinde müdahale sağlayan aktif söndürme sistemleri ve Ex ekipman gereklilikleri teknik detaylarıyla ele alınmıştır. Binlerce farklı kimyasal maddenin bir arada yönetimini sağlayan tehlikeli kimyasal depolama matrisi ile olası sızıntı ve döküntülerde kimyasal reaksiyonları önleyen müdahale **yöntemlerine yer verilmiştir. Bu çalışmada; ADR mevzuatına uygun teknik tasarım, yasal mevzuat gereklilikleri ve** operasyonel **süreçleri kapsayan, sürdürülebilir bir yangın güvenliği** modeli**önerilmektedir**.

Anahtar Kelimeler: ADR, kimyasal depolama, tehlikeli kimyasallar, yanıcı kimyasal, yangın güvenliği

FIRE SAFETY IN FLAMMABLE CHEMICAL LOGISTICS WAREHOUSES WITHIN THE FRAMEWORK OF ADR REGULATIONS

ABSTRACT

This study examines fire safety in the logistics storage processes of hazardous chemicals under the ADR regulations, specifically focusing on Class 3 (Flammable Liquids), Class 4 (Flammable Solids), and Class 5 (Oxidizing Substances). Fires in flammable and oxidizing storage areas pose the potential not only for significant property damage but also for large-scale environmental disasters and critical occupational health and safety crises.

In the logistics warehouses where flammable chemicals are stored, passive fire protection measures that maintain structural integrity, active extinguishing systems that provide intervention in seconds, and Ex equipment requirements are discussed in technical detail. The study includes the hazardous chemical storage matrix, which allows for the safe management of thousands of different chemicals, as well as spill and leakage intervention methods that prevent hazardous chemical reactions. In this study, a sustainable fire safety model has been developed, covering technical design, legal regulatory requirements, and operational processes in compliance with ADR standards.

Keywords: ADR, chemical storage, fire safety, flammable chemical, hazardous chemicals

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin doğal bir sonucu olarak artan endüstriyel faaliyetler, tehlikeli maddelerin üretim, taşıma ve depolama süreçlerini de büyütmüş; bu maddelerin yangın ve patlama risklerine karşı sistematik bir düzenleme ihtiyacını zorunlu kılmıştır. Yanıcı ve parlayıcı sıvıların yanı sıra toksik, oksitleyici ve kendiliğinden tepkimeye girebilen kimyasallar; fiziksel, fizikokimyasal ve toksikolojik özellikleri nedeniyle iş yerinde kullanıldıklarında işçilerin sağlık ve güvenliği için ciddi risk oluşturan tehlikeli maddeler olarak tanımlanmakta olup, bu maddelerin tehlikelerinden kaynaklanan risklerin kontrol altında tutulabilmesi öncelikle özelliklerinin ve çevreye ve insana olan zararlı etkilerinin iyi anlaşılmasına bağlıdır.

Kimya sanayisinde, teknolojinin gelişimi ile daha karmaşık endüstriyel proseslerin kullanımı yaygınlaşmış, insanlar ve çevre için ciddi tehlikeler ortaya çıkmıştır. Etkin kimyasal güvenlik, kimya sanayi başta olmak üzere tüm endüstri kolları için bir tercih olmaktan ziyade, temel bir gereklilik olarak değerlendirilebilir.

Yanıcı/parlayıcı sıvılar, alevlenir katılar (Tehlikeli Malların Karayolu Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması-ADR Sınıf 4.1), kendiliğinden yükselen sıcaklığa ulaşabilen maddeler (ADR Sınıf 4.2) ve oksitleyiciler (ADR Sınıf 5.1) lojistik depolama açısından en kritik kümeyi oluşturulduğu değerlendirilmektedir; aynı tehlike düzeyinde olsalar dahi kendi aralarında temas ettiklerinde ek risk doğurabilen kimyasal gruplar bulunduğundan, her bir maddenin Güvenlik Bilgi Formu temelinde birlikte depolanıp depolanamayacağı depolama matrisi ile belirlenmektedir. Öte yandan, günümüzde üretim ve rekabetçi piyasa yapısı depoları karmaşık üretim tesislerine dönüştürmüş; artan karmaşıklık ve yeni işlevler nedeniyle depolar neredeyse tüm endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlanmış, depolanan malzemelerin çeşitliliği ile yanıcı/parlayıcı ürün içerikleri onları yangına karşı daha duyarlı hale getirmiştir. Depo çalışanlarının iş gereksinimlerini karşılamak için güvenli olmayan davranışlarda bulunabilmesi (yangın dolaplarının önünün kapatılması, yangın alarm butonlarının kullanımının engellenmesi, söndürme sistemlerinin amaçları dışında kullanılması, söndürme-ihbar ve tahliye sistemlerinin kontrollerinin yapılmaması gibi) bu duyarlılığı daha da artırabilecek bir etken oluşturmaktadır.

Yukarıdaki çerçevede bu çalışmanın temel amacı, ADR mevzuatının tehlikeli madde sınıflandırması ile lojistik depolama düzenlemelerini tek bir risk yönetimi modeli içinde birleştirerek, ADR Sınıf 3 (yanıcı/parlayıcı sıvılar) ve bunlarla etkileşebilen ADR Sınıf 4–5 maddeleri ağırlıklı olmak üzere, yanıcı kimyasal lojistik depolarında yangın güvenliğini pasif önlemler (yapısal tasarım ve kompartımantasyon), aktif önlemler (algılama ve söndürme) ve Ex-proof ekipman gereklilikleri ekseninde bütüncül olarak ele almak ve saha operatörüne uygulanabilir bir kimyasal uyumluluk matrisi, Tehlikeli Kimyasallarla Çalışmada Acil Müdahale Rehberi ile sızıntı/döküntü prosedürleri seti sunmaktır.

2. ADR MEVZUAT ÇERÇEVESİ

Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) 1990 yılında kabul ettiği "Kimyasalların Kullanımında Güvenlik Hakkında, 170 sayılı Sözleşme" ve "177 sayılı Tavsiye Kararı", kimyasalların üretimi, kullanımı, depolanması, taşınması, kimyasal atıkların yok edilmesi ve işlenmesi, içerisinde kimyasal bulunan kapların bakım ve onarımında alınacak önlemleri sıralamıştır. Bu doğrultuda, kimyasalların özellikleri nedeniyle son derece karmaşık olan bu bilginin, kullanıcının kolaylıkla anlayabileceği, zararları ve önlemleri de içerecek sistematik bir biçimde düzenlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Sınıflandırma ve etiketleme sistemleri bu amaca hizmet etmek üzere geliştirilmiş araçlardır.

Tablo 1. Kimyasalların bildirilmesi, tanımlanması ve taşınmasında yasal mevzuatlar

Sistem	AB'deki Karşılığı	Tam Resmi Adı	Ülkemizde Resmi Adı
GHS (Küresel Uymlaştırma Sistemi)	1272/2008/AT sayılı CLP Tüzüğü	Madde ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanmasına İlişkin 1272/2008 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Tüzüğü (CLP — Classification, Labelling and Packaging)	Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik — SEA
REACH	1907/2006/AT sayılı Tüzük	Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanmasına İlişkin 18 Aralık 2006 tarihli ve 1907/2006 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Tüzüğü (REACH — Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)	Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Hakkında Yönetmelik — KKDİK
ADR	2008/68/AT sayılı Direktif **(iç hukuka aktarım); köken olarak BM/AEK 1957 Anlaşması**	Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin 30 Eylül 1957 tarihli ADR Anlaşması; AB'de İç Taşıma Modlarında Tehlikeli Malların Taşınmasına ilişkin Direktif (2008/68/AT sayılı Direktif)	Tehlikeli Malların Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik

REACH Tüzüğü (1907/2006/AT), bir maddenin Avrupa Birliği pazarına yıllık en az bir ton miktarında arz edilmesinden önce, üretici veya ithalatçı tarafından Avrupa Kimyasallar Ajansına kayıt dosyası sunulmasını zorunlu kılar. Bu dosya maddelerin fizikokimyasal, toksikolojik ve ekotoksikolojik bilgilerini içerir; Güvenlik Bilgi Formunun (GBF/SDS) Bölüm 9 ve 14'ünde dokümante edilir. REACH, bir kimyasalın piyasaya arzından önce kimliğinin yasal olarak tanımlamasını ve tehlike parametrelerinin resmi olarak kayıt altına alınmasını sağlayan bir sistem olarak tanımlanır. Bu kayıt sürecinin ürettiği ham veri, CLP Tüzüğü (1272/2008/AT) kapsamında GHS uyumlu tehlike kategorilerine dönüştürülür. Sayılar yapılandırılmış bir tehlike diline çevrilir; maddeye Flam. Liq. 1–3 veya Acute Tox. gibi yapılandırılmış kategoriler ile H kodlu tehlike ifadeleri tahsis edilir. CLP, REACH'in ortaya çıkardığı sayıları alır ve herkesin aynı şekilde anlayacağı standart bir dile dönüştürür; böylece depo sorumlusunun eline, maddenin ne kadar tehlikeli olduğunu tek cümleyle anlatan bir etiket ulaşır. CLP sınıflandırmasını temel alan ADR Anlaşması ise bu tehlike dilini taşıma ve depolama operasyonuna uygulanabilir somut parametrelere dönüştürür. Tehlikeli kimyasal maddeye UN numarası, taşıma sınıfı ve paketleme grubu (PG I/II/III) atanır. Bu üç parametre taşıma belgesinde, ambalajlamada ve araç gerekliliklerinde belirleyici olur.

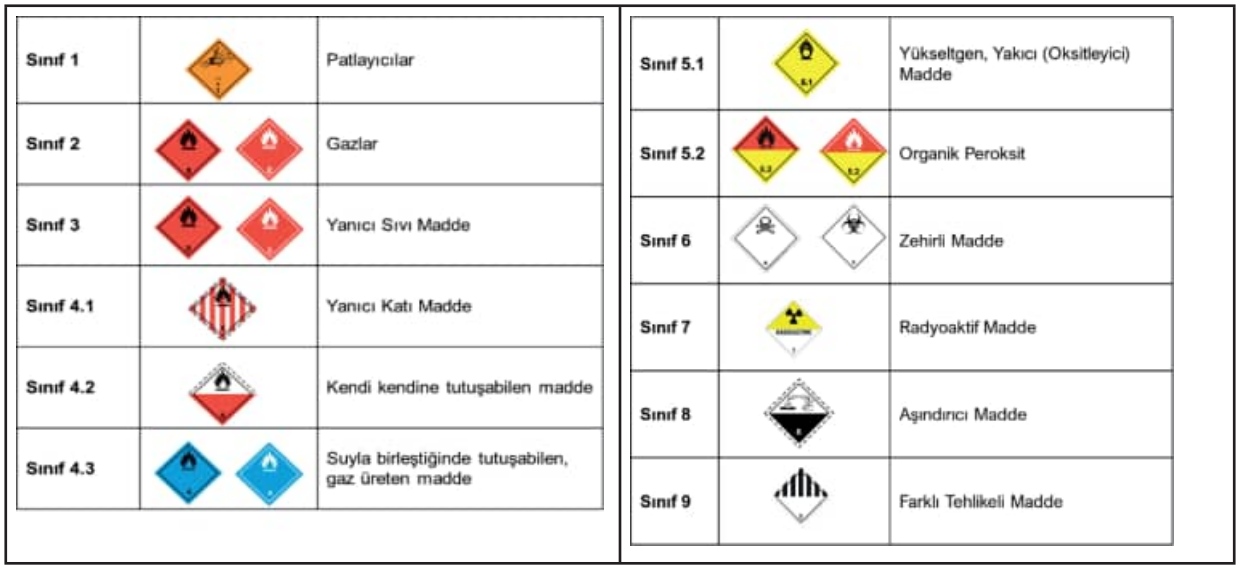
Lojistik depoya varış sürecinde tehlike tanımının temeli ADR sınıflandırmasıdır. Gelen sevkiyatın UN numarası ve paketleme grubu gelen maddenin deponun hangi bölgesine konulacağını belirler. Söz konusu maddenin ADR sınıflandırması ile depolandıktan sonra, CLP tehlike kategorilerine ve etiketlerine referansla nelerin yapılması ve nelerden kaçınılması gerektiğini tanımlamaktadır.

Bu nedenle depolamanın belirlenmesi ADR'ye, depoda iş güvenliği ve yangın güvenliği, etiketleme, ayırma politikası ve riskler ise CLP'ye dayandırılır. Zincirin en yukarısında yer alan REACH kayıt verisinin güncelliği ise her iki çıktının da tutarlılığınıdestekleyebilir. REACH'te güncellenmemiş veya eksik bir GBF, CLP'de yanlış kategoriye ve ADR'de yanlış paketleme grubuna yol açabilir; bu da depolama kararının hatalı bir temele dayanmasına neden olabilir. Üç halkalı bu zincir ancak birlikte doğru çalıştığında yanıcı kimyasal lojistik depolarda yangın güvenliği tutarlı biçimde sağlanabilir.

2.1. Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşma (ADR) Tehlike Sınıfları

ADR tehlike işaretleri, taşınan maddenin UN numarası ile tehlike sınıfını (yanıcı, zehirli, oksitleyici, aşındırıcı vb.) araç ve ambalaj üzerinde standart renk ve semboller kullanarak görsel olarak bildirir. Bu sayede kaza, yangın veya sızıntı anında müdahale eden ekipler, aracı durdurup incelemeden maddenin taşıdığı riski ve uygulanması gereken acil müdahale yöntemini hızlıca belirleyebilir.

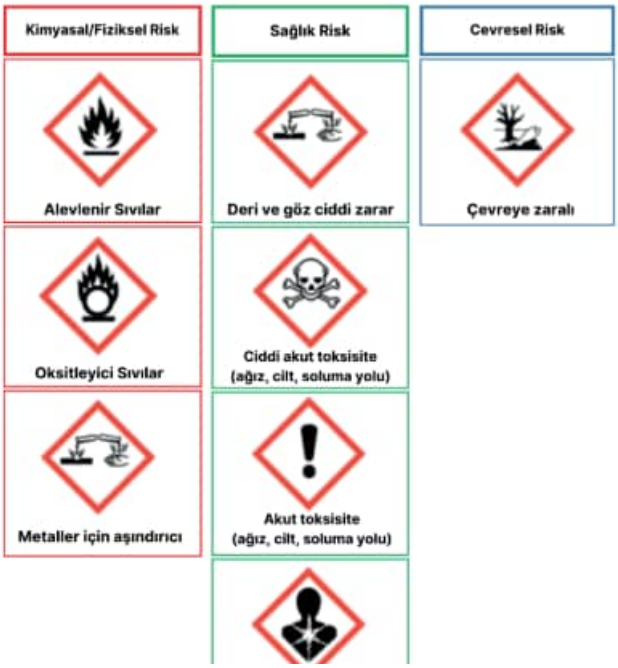
Şekil 1. ADR Tehlike İşaretleri



2.2. GHS (Küresel Uyumlaştırılmış Sistem) Tehlike Sınıflandırılması

GHS, fiziksel, sağlık ve çevresel risklerini uluslararası düzeyde belirlenmiş standart kriterlere göre tanımlama ve gruplandırma sistemidir. Bu sistem, kimyasal zararların dünya genelinde tek bir ortak dille ifade edilmesini sağlayarak iş sağlığı, güvenliği ve çevresel koruma uygulamalarında bütünlük oluşturabilir.

Şekil 2. GHS Tehlike İşaretleri



2.3. Tehlikeli Madde Sınıflarının Karakterizasyonu

ADR kapsamındaki maddelerin depolanması, lojistik depolarındaki yangın riski açısından en kritik süreçlerden biridir; çünkü yanıcı katı ve sıvı kimyasal maddeler ısının etkisiyle buhar/gaz çıkararak yanar, havadaki oksijenle birleşince patlayıcı karışım oluşturabilir ve özellikle sodyum/potasyum gibi metaller suyla temas ettiğinde hidrojen gazı açığa çıkararak ek risk üretir.

Yanıcı sıvıların alt tehlike sınıflandırması, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te doğrudan referans alınmıştır. Bunlar, parlama noktasına ve kaynama noktasına göre tehlike sınıflarına ayrılır:

Tablo 2. Yanıcı ve parlayıcı sıvılar

Tehlike Sınıfı	Parlama Noktası	Kaynama Noktası	Tanım
Sınıf IA	< 22,8 °C	< 37,8 °C	Parlayıcı (en tehlikeli)
Sınıf IB	< 22,8 °C	≥ 37,8 °C	Parlayıcı
Sınıf IC	22,8 °C – 37,8 °C	—	Parlayıcı
Sınıf II	37,8 °C – 60 °C	—	Yanıcı
Sınıf IIIA	60 °C – 93 °C	—	Yanıcı
Sınıf IIIB	> 93 °C	—	Yanıcı (en az tehlikeli)

Parlama noktası 37,8 °C'den az olan sıvılar parlayıcı sıvı olarak kabul edilirken, parlama noktası 60,5 °C'den fazla olmayan ve 37,8 °C ve üzerinde olan sıvıları yanıcı sıvı, üstünde kalanları ise daha düşük tehlike kategorisinde değerlendirmektedir. Sınıflandırma, sıvının uçuculuğu (buhar basıncı) ve yüzeyinde oluşan buhar konsantrasyonunun tutuşması için gereken minimum sıcaklık üzerinden yapılır; çünkü yanma olayı maddenin gaz formunda meydana gelir ve buharlaşma, bunun ön koşuludur.

ADR Sınıf 1–9 sınıflandırması, raf başına farklı senaryolar üretir; bu nedenle karakterizasyon, mekanik (basınç/sıcaklık), termal (parlama/kaynama), kimyasal (reaktivite/pH) ve toksikolojik (LC_{50}/TLV-TWA) dört boyutta MSDS üzerinden gerçekleştirilir.

BYKHY'nin 118. maddesinin 2. fıkrasına göre, kapalı bir hacimde parlayıcı sıvılar, Ek-12/A›da belirtilen değerleri her bir yığında aşmamak koşuluyla depolanabilmektedir. Bu çerçevede aşağıdaki tabloda verilen miktarlar, toplam depolama kapasitesini değil, tek bir yığın için izin verilen maksimum miktarları ifade etmektedir.

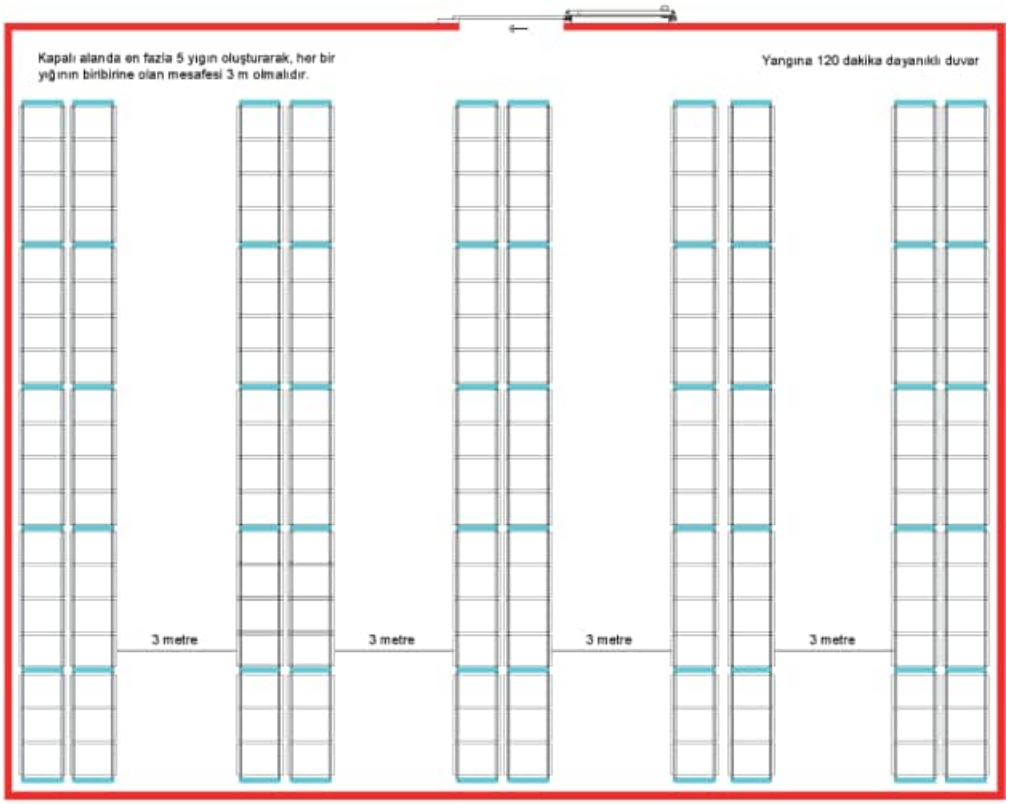
Yönetmelik, aynı kapalı hacim içerisinde her biri birbirinden en az 3 metre mesafede olacak şekilde en fazla 5 ayrı yığın oluşturulmasına izin vermektedir. Buna göre, tabloda belirtilen sınırlar yalnızca bir yığına ait olduğundan, gerekli mesafe koşulları sağlandığında toplam depolama miktarı tabloda verilen değerin en fazla 5 katına kadar çıkabilmektedir.

Ayrıca, aynı hacimde farklı tehlike sınıflarına giren parlayıcı sıvılar birlikte depolanıyorsa, toplam depolanacak miktar en yüksek tehlike sınıfına göre belirlenmelidir.

Tablo 3. Ek-12 Yanıcı ve Parlayıcı Sıvıların Depolanması

Yanıcı/Parlayıcı Sıvı Sınıfı	Kendi Depolama Kaplarında (L)	Taşınabilir Depolama Tanklarında (L)
Sınıf IA	2.500	—
Sınıf IB	5.000	7.500
Sınıf IC	10.000	5.000
Sınıf II	30.000	40.000
Sınıf IIIA	100.000	150.000
Sınıf IIIB	200.000	300.000

Şekil 3. Yanıcı ve parlayıcı sıvıların depolandığı depo binaları



3. KİMYASAL DEPOLARDA YANGIN RİSKİ

Kimyasal depolarda yangın ve patlama analizi, yangın güvenliği önceliklerinin belirlenmesine katkı sağlayabilir. Türkiye verilerine göre kaza türlerinin %55,6'sı yangın kaynaklıdır; kazaların %30'u alevlenir sıvılar ile ilişkilidir. Lojistik depo tasarım senaryoları yangın riskine göre önceliklendirilmelidir.

Kaza Tipi	Meydana gelme ihtimali	Ölümlü kaza ihtimali	Ekonomik kayıp ihtimali
Yangın	Yüksek	Düşük	Orta
Patlama	Orta	Orta	Yüksek
Toksik Salımı	Düşük	Yüksek	Düşük

Bir yanıcı kimyasal lojistik deposunda yangın güvenliği mevcut envanterin miktarı ve türü, paketleme biçimi, raf yüksekliği, kompartman geometrisi ve söndürme/algılama altyapısının birlikte değerlendirilmesini gerektirebilir. Tasarım çerçevesi, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre belirlenmelidir.

3.1 Pasif ve Aktif Yangın Önlemleri

Yangın Risk Analizi yapısal (bina ve kompartman geometrisi, kapı), algılama-söndürme (dedektör, sprinkler, köpük, gaz) ve patlayıcı ortam yönetimi başlıklarını içerir.

Depolama ilk olarak tehlikeli maddelerin belirlenmesi, ADR sınıfları, BYKHY alt sınıfları ve depolama matrisi ekseninde yapılır. Aynı ölçekte mimari pasif güvenlik önlemleri altı alt hedef altında sıralanır:

a) Zehirleyici gaz ve dumanın yapı içinden uzaklaştırılması,

b) Yangından kaçış rotasının, merdivenlerin ve toplu buluşma alanlarının planlanması,

c) Yapıda yangın geçirimsiz bölümlerin (kompartmanların) sağlanması,

d) Yanıcı olmayan ya da tutuşma ısısı yüksek, duman çıkarmayan yapı malzemelerinin kullanılması,

e) Kullanıcıların kolayca algılayabileceği kaçış yollarının planlanması,

f) Taşıyıcı sistemin yüksek sıcaklıklara dayanması.

3.2 Lojistik Depoların Yapısal Tasarımı

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) "yanıcı ve parlayıcı sıvıların depolama amaçlı yapılmayan binalarda hiçbir şekilde depolanamayacağını" hükme bağlar; depolama amaçlı kurulmayan ve diğer hacimlerden yangına en az 90 dakika dayanıklı duvar ve döşemelerle ayrılan binalarda ise sadece bu sıvıların depolanmasına izin verilir. Yüksek tehlike sınıfındaki sıvıların depolanacağı binalara ilişkin tasarım koşulları şöyle sıralanır: Konutlara ve insanların bulunduğu hacimlere bitişik olmamalı; yangına en az 120 dakika dayanıklı tek katlı olmalı; komşu hacimlere boru geçişleri ve tavan delikleri yanıcı olmayan malzemelerle buhar-hava geçişini kesecek şekilde tıkanmalı; döşeme depolanan sıvı için geçirgen olmamalı ve yanıcı olmayan malzemeden yapılmalı; dökülen yanıcı sıvının atık su çukurları/kanalları/boru tesisatına sızması önlenmeli; bina kapıları en az 120 dakika yangına dayanıklı olmalı; depo hacimleri yeterince havalandırılmalıdır. Yüksek tehlike sınıfındaki binalarda ayrı bir alan oluşturulmalı ve bu alanlarda yağmurlama sistemi, karbondioksit, kuru kimyevi toz veya başka bir uygun sistemle yangın koruması sağlanmalıdır.

Temel amaç zehirleyici gaz ve dumanın uzaklaştırılması, kaçış rotalarının, merdivenlerin ve toplanma alanlarının planlanması, yangın geçirimsiz bölümler (kompartmanlar), yanıcı olmayan/düşük dumanlı yapı malzemeleri, kolay algılanan kaçış güzergâhı ve taşıyıcı sistemin yüksek sıcaklıklara dayanmasıdır. İlgili altı amaç; Yangına Dayanım, Yangına Tepki, Aktif Güvenlik Sistemleri ve Algılama Sistemleri parametreleri esas alınarak yapılandırılmalıdır. Yönetmelik Kılavuzu bunu REI ve EI sembolleriyle sayısallaştırır: R yük taşıma kapasitesi, E bütünlük, I yalıtım; üçü birlikte yazılırsa hem taşıyan hem ayıran eleman, EI yazılırsa taşımayan bölme elemanı anlaşılır. Somut eşikler şöyledir.

Yangın kompartımanı geometrisi CFPA-E No 18:2022 F ile sınırlandırılır: alt kotlarda 3.000 m²'yi aşmamalıdır; üst seviyelere çıkıldıkça kompartman alanı ve kompartman başına düşen yangın yükü azaltılmalıdır. Yangın kapıları kompartman bütünlüğünün en kritik unsurlarından biridir.

3.3 Söndürme ve Algılama Sistemleri

Her yanıcı kimyasal madde kutu/varil/torba öncelikle köpüklü söndürme sistemi ve sulu sprinkler söndürme sistemi bulunan yanıcı kimyasal depoda muhafaza edilmelidir.

Köpük sistemleri üç grupta sınıflandırılmalıdır: düşük genleşmeli sistemler hem boğma hem soğutma sağlayarak depolama alanlarında temel seçenek olarak tercih edilmelidir; orta genleşmeli sistemler boğma odaklıdır; yüksek genleşmeli sistemler ise yalnızca boğma sağlayarak hacim kapama uygulamaları için kullanılmalıdır.

Sulu tip sprinkler sistemleri, yanıcı ve parlayıcı sıvıların depolandığı yerlerde, standartların izin verdiği konfigürasyonlarda kullanılabilir.

Depolarda köpük dağıtım sistemlerinin tasarımı, deponun özelliklerine ve ortam şartlarına göre seçilen uygun sprinkler sistemi türleriyle sağlanmalıdır. Yangın güvenliğinde temel olarak ıslak, kuru, baskın (deluge) ve ön tepkili (pre-action) olmak üzere dört sprinkler sistemi türü bulunmaktadır. Yanıcı sıvı riski barındıran yüksek raflı depolarda, köpük-su karışımını hem tavan hem de raf içi (in-rack) hatlar üzerinden doğrudan risk bölgesine aktaran ıslak veya ön tepkili sistem konfigürasyonları tercih edilirken; yanıcı sıvı döküntüle-

rinin geniş bir alana ani yayılma riski taşıyan özel lokasyonlarında, algılama sistemi (beam dedektör veya manuel) aktifleştiğinde tüm nozulların eş zamanlı devreye girdiği baskın (deluge) sistem konfigürasyonları uygulanmaktadır.

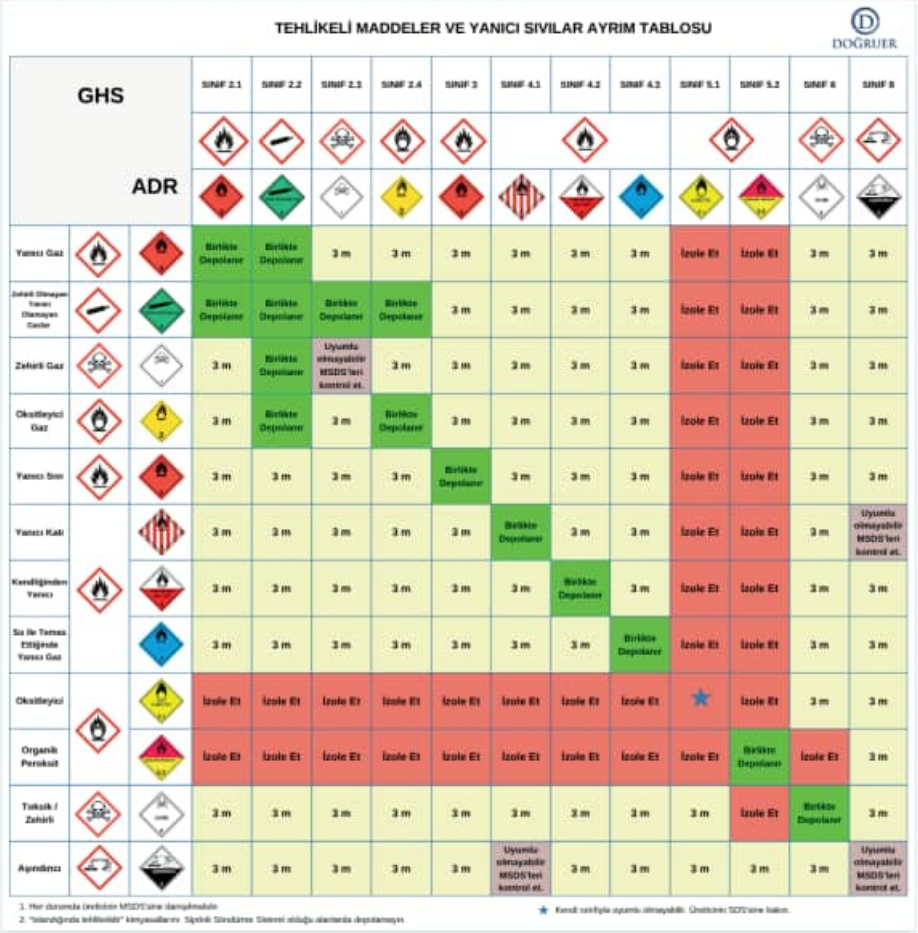
Yangın algılamada, depo ölçeğinde EN 54-14 standardına göre noktasal tip duman dedektörleri için üst sınır olan 12 metreyi aşan yüksek tavanlı yapılarda optik nokta dedektörü yerine ışın tipi (beam) duman dedektörü veya hızlı yangın gelişim riski bulunan alanlarda optik alev dedektörleri tercih edilebilmektedir. Beam dedektör, TSE CEN/TS 54-14:2018 standardındaki şartlara göre kurulur; alıcı ve verici arasındaki mesafe 100 m'ye kadar ulaşabilir. Yangın söndürme ekipmanları olarak, otomatik sprinkler tesisatına veya sabit yangın söndürme sistemlerine ilaveten, yangın anında kullanıma hazır taşınabilir yangın söndürücülerin yeterli sayıda ve kolay erişilebilir konumda bulundurulması sağlanmalıdır.

4. ACİL MÜDAHALE VE DEPOLAMA MATRİSİ

4.1 Depolama Matrisi

Mevcut matris, depolanan tehlikeli kimyasalların fizikokimyasal özelliklerini ve bu maddelere yönelik belirlenen söndürme ve müdahale stratejilerini GHS ve ADR risk faktörleri doğrultusunda sınıflandırmaktadır.

Şekil 4. Tehlikeli maddeler ve yanıcı sıvıların ayrım tablosu



ADR kapsamındaki bir yanıcı kimyasal lojistik deposunda yığınların komşuluğu, BYKHY Madde 118'in gerektirdiği mesafe kurallarıyla sınırlanan geometrik bir problem olmanın ötesinde, kimyasal reaktivite temelli

bir uyumluluk problemidir. ADR Sınıf 3 (yanıcı sıvılar) ve Sınıf 5.1 (oksitleyiciler) aynı hacimde fiziksel olarak 3 m mesafeyle ayrılabilse de, bir döküntü senaryosunda buhar transferi veya sıçrama yoluyla temas halinde hızlandırılmış bir yanma – patlama reaksiyonu başlatabilir. Bu nedenle, ADR Sınıf 3 yanıcı sıvıların ADR Sınıf 5.1 oksitleyicilerle arasındaki mesafe, fiziksel ayrımın ötesinde reaktif bir bariyer oluşturmak üzere tanımlanır ve Tehlikeli Maddeler ve Yanıcı Sıvılar Ayrım Tablosu bu bariyeri operasyonel düzeyde kodlayan referans dokümandır.

Uygulamada matris, deponun depolama planı (storage plan) oluşturulurken esas alınmalıdır. Her yığın oluşturulmadan önce, yığındaki maddenin GHS sınıfı ile komşu yığın/ayrı kompartımandaki maddenin GHS sınıfı matriste okunur; hücredeki değer yığınların komşuluğunu, mesafesini veya kompartıman ayrımını belirler.

4.2 Tehlikeli Kimyasallarla Çalışmada Acil Müdahale Rehberi

ADR kapsamında lojistik depolarda tehlikeli kimyasallarla çalışırken oluşabilecek acil durumlara karşı ERG'den faydalanılarak Acil Müdahale Rehberi hazırlanmıştır.

Şekil 5. Tehlikeli kimyasallarla çalışmada acil müdahale rehberi



Kimyasalın ADR UN numarasına uygun rehberler oluşturulmuştur. Rehber, aşağıdaki bölümleri içermektedir:

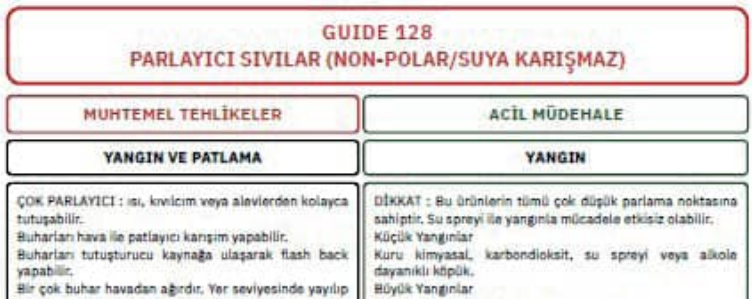
- **Muhtemel Tehlikeler:** Yangın, patlama, sağlık.
- **Acil Müdahale:** Yangın, dökülme, sızıntı, ilk yardım.

Şekil 6. Tehlikeli kimyasalların UN Numarasına göre rehber



1145	SİKLOHEKZAN	128
1146	SİKLOPENTAN	128
1147	DEKAHİDRONAFTALİN	130
1148	DİASETON ALKOL	129
1148	DİASETON ALKOL	129
1149	DİBÜTİL ETERLER	128
1150	1,2-DİKLOROETİLEN	130
1152	DİKLOROPENTANLAR	130
1153	ETİLEN GLİKOL DİETİL ETER	127
1198	FORMALDEHİT ÇÖZELTİSİ, ALEVLENEBİLİ...	132
1201	FUZEL YAĞI	127
1202	GAZ YAĞI veya DİZEL YAKIT veya ISIT...	128
1203	BENZİN veya GAZOLİN veya PETROL 534...	128
1204	NİTROGLİSERİN ÇÖZELTİSİ, ALKOLDE %1...	127
1206	HEPTANLAR	128
1207	HEKZALDEHİT	130
1208	HEKZANLAR	128
1210	MATBAA MÜREKKEBİ	129

Şekil 7. Acil müdahale rehberi



GUIDE 128
PARLAYICI SIVILAR (NON-POLAR/SUYA KARIŞMAZ)

MUHTEMEL TEHLİKELER	ACİL MÜDEHALE
YANGIN VE PATLAMA	YANGIN
ÇOK PARLAYICI : ısı, kıvılcım veya alevlerden kolayca tutuşabilir. Buharları hava ile patlayıcı karışım yapabilir. Buharları tutuşturucu kaynağa ulaşarak flash back yapabilir. Bir çok buhar havadan ağırdır. Yer seviyesinde yayılıp	DİKKAT : Bu ürünlerin tümü çok düşük parlama noktasına sahiptir. Su spreyi ile yangınla mücadele etkisiz olabilir. Küçük Yangınlar Kuru kimyasal, karbondioksit, su spreyi veya alkole dayanıklı köpük. Büyük Yangınlar

4.3 Sızıntı ve Döküntü Prosedürleri

ADR kapsamındaki bir yanıcı kimyasal lojistik deposunda sızıntı ve döküntü yönetimi, pasif/aktif yangın güvenliği tedbirlerinin operasyonel tamamlayıcısıdır. BYKHY Madde 118 gereği döşemenin yanıcı olmayan ve geçirimsiz olması, dökülen sıvının atık su/kanal/boru tesisatına sızmasını ve çalışanların zarar görmesini engellemek için sızıntının kaynağında kontrolü ile yangına dönüşmeden müdahale sağlanmalıdır. Bu çerçevede, depo içi sızıntı ve döküntü talimatlarının üç farklı başlık altında tanımlanması önerilmektedir:

Genel Sızıntı ve Döküntü Müdahale Talimatı

Sıvı Kimyasal Sızıntı Müdahale Talimatı

Katı ve Toz Kimyasal Döküntü Müdahale Talimatı

5. SONUÇ VE GÜVENLİK MODELİ

ADR kapsamındaki bir yanıcı kimyasal lojistik deposu, üç katmanlı bir güvenlik modelinin üzerine kurulmuştur :

1. Uyumluluk katmanı: Depolama alanının kimyasal uygunluğu ile yanıcı kimyasal depolama alanının mevzuata (BYKHY, ADR, GHS) uygun biçimde tasarlanması. Bu katman kapsamında, REACH–CLP–ADR zincirinden gelen tehlike verisinin depolama matrisi ile fiziksel ayrım kurallarına dönüştürülmesi tanımlanmalıdır.

2. Operasyonel yerleştirme katmanı: Kimyasalın ADR sınıfı, UN numarası ve BYKHY alt sınıfı üzerinden doğru tespiti ve bu tespite dayanarak doğru yerde, doğru komşulukla depolanmasının sağlanması. Bu katman ile yapısal ve aktif önlemlerin doğru konumda devreye alınması garanti altına alınmalıdır.

3. Müdahale katmanı: Acil müdahale rehberi ile döküntü/sızıntı prosedürlerinin sahada eksiksiz uygulanması. Bu katman ile öngörülemeyen sapmaların yangın veya patlama senaryosuna dönüşmeden kontrol altına alınması sağlanmalıdır.

Bu katmanlar, entegre bir yapıda ele alınmalıdır; uyumluluk katmanındaki bir eksiklik (örneğin güncellenmemiş bir MSDS), operasyonel yerleştirme katmanında hatalı depolama kararlarına ve müdahale katmanında öngörülemeyen risk profillerine yol açar. Yanıcı kimyasal lojistik depolarında yangın güvenliği: kimyasal uygunluk, mevzuata uygun tasarım, operasyonel depolama ve acil müdahale kapasitesinin entegre ve sürekli olarak sağlanmasıyla tesis edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

[1] Başdemir, H., & Demirel, F. (2010). Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması. *Journal of Polytechnic*, *13*(2), 101–109

[2] Bayram, M., Ayas, N., Ergün, K. H., Kantemir, M., Bayram Paksoy, H., Sarı, B., & Aslan, B. (2024). *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu*.

[3] ÇAKAR, M. (2024). *Kimyasal Maddelerin Tehlikeleri ve İş Güvenliği Üzerindeki Etkileri*.

[4] Carrea, E., & Rusch, H. (2025). *Fire protection management system*.

[5] DEMİR, L., KARAKOYUN, N., BİLİCİ, M., & AZİZOĞLU, E. (2025). *Depoculuk Sektöründe Depo Kurulumu Öncesi Alınması Gereken İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri*.

[6] DUMLUPINAR, M. T., & Öztürkoğlu, Y. (2019). Tehlikeli Madde Taşımacılığında ADR'ye Göre Risklerin Analiz Edilmesi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *21*(1), 1–13

[7] Lewis, A. (2017). *Depolarda Yangın Güvenliği CFPA-E Kılavuzu No 35:2017 F*.

[8] Öner, A. (2009). *Yanıcı/Parlayıcı Sıvı Depolanan Binalarda Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri*.

[9] Özırmak, A. (2025). Yapıların Yangın Güvenliğinde Duman Dedektörlerinin Rolü ve Önemi. *DergiPark (Istanbul University)*.

[10] SANAN, A., & ŞAHİN YAĞLIOĞLU, A. (2025). *İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Kimyasal Risk Etmenleri ve Yangın Güvenliği*.

[11] Ülker, F., & Savsar, M. (2024). Depolama Sektöründe Yangın Riski ve Güvenlik. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, *8*(3), 115–130.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Ahmet DEMİR

1980 yılında Gümüşhane'de doğdu. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, 2016 yılında Yalova Üniversitesi Kimya ve Süreç Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nı tamamladı.

18 yıldır İş Sağlığı ve Güvenliği alanında profesyonel olarak görev yapmakta olup Tehlikeli Madde Güvenliği (TMGD) ve ATEX konularında uzmanlaşmıştır. Çalışma hayatına Doğruer Lojistik ve Uluslararası Nakliyat Dış Tic. Ltd. Şti.'nde İş Sağlığı ve Güvenliği Yöneticisi olarak sürdürmektedir.

Experimental evaluation of Fire Detection on Different Photovoltaic Installations Using Distributed Fibre Optic Linear Heat Detection

Avinash Virale, Anja Rätzke, Felix Heck, Uwe Keppler, Bülent Toksoz

ABSTRACT

The increasing global deployment of photovoltaic (PV) systems as a sustainable energy source has significantly expanded their use in industrial and residential rooftops, and large-scale solar power plants on the ground. However, PV-installations present specific fire safety challenges due to electrical faults, arc events, and combustible materials located beneath the panels. Early and reliable fire detection is therefore essential to mitigate potential damage and ensure operational safety. This study investigates the application of a distributed Fibre Optic Linear Heat Detection (FO-LHD) system for early fire detection in photovoltaic installations. The FO-LHD technology employs fibre optic sensor cables installed beneath PV-panels to enable continuous temperature monitoring with high spatial resolution over extended distances.
Fire detection performance was evaluated through controlled laboratory experiments on PV-panels. A pre-spliced fibre optic sensor cable with optical connectors was mounted beneath the panels using clips and arranged in an S-shaped configuration to maximize sensing coverage and detect sensing at different locations. The sensor cable was connected to an FO-LHD controller configured according to EN 54-22:2015 + A1:2020 and UL-521/ULC-S530-M91 fire detection standards. For detailed analysis, the sensor cable layout was divided into multiple zones to assess detection time relative to different ignition locations. Experimental results show that the FO-LHD system detected fire events within minutes after ignition across all test scenarios. The distributed sensing capability enabled accurate localization of temperature rise along the sensor cable, providing spatially resolved fire detection. These results demonstrate the suitability of FO-LHD as an effective and scalable fire monitoring solution for PV- panels.

Key words: Distributed Temperature Sensing (DTS), Fibre Optic Linear Heat Detection (FO-LHD), Photovoltaic system fire safety, Early fire detection

SUMMARY

This paper presents an experimental evaluation of fire detection performance in different PV installation configurations using a distributed Fibre Optic Linear Heat Detection (FO-LHD) system. As PV deployment continues to expand, reliable early fire detection has become increasingly important to mitigate fire risks associated with electrical faults, hotspots, and combustible materials beneath solar panels. Controlled laboratory experiments were conducted on four representative PV configurations using arc ignition and wooden crib fire scenarios to assess detection performance under varying installation geometries. The results demonstrate that the FO-LHD system provides rapid fire detection and continuous spatial temperature monitoring, with detection times ranging from within a minute in the ignition zones and effective localization of thermal events beneath both small- and large-scale PV installations. The study further shows that detection performance is influenced by factors including sensor cable layout, installation geometry, roof inclination, fire location, and environmental conditions, highlighting the importance of optimized sensor cable deployment and alarm parameter configuration. Overall, the findings confirm that distributed FO-LHD technology is a promising solution for enhancing fire safety and operational reliability in PV systems, providing continuous monitoring and early warning capabilities suitable for a wide range of PV applications.

Introduction

With the acceptance of PV as a cleaner and long-term source of energy, it is being accepted both for small- and large-scale energy production. It has become one of the fastest-growing renewable energy sources worldwide, playing a crucial role in the global transition towards sustainable energy systems. In 2024, annual PV installations reached a record 601 GW, increasing the cumulative global installed capacity to over 2.26 TW, which is expected to supply more than 10% of the world's electricity demand while avoiding over 1 000 Mt of CO_2 emissions annually [8]. The International Energy Agency (IEA) projects that global renewable power capacity will increase by 4600 GW between 2025 and 2030, with solar PV technology accounting for nearly 80% of this expansion, highlighting the increasing importance of ensuring the safety and reliability of PV installations [9]. With the expansion of the PV systems both for individual rooftop, industrial rooftop installation and Solar plants, it is becoming increasingly important to have a reliable fire detection system. Conventional fire detection technologies, including smoke detectors and flame detectors, exhibit significant limitations in PV applications because of delayed response, restricted coverage beneath solar panels, and susceptibility to environmental conditions [4] [10]. As PV installations continue to expand, ensuring their operational safety has become increasingly important because electrical faults such as DC arc faults, hotspots, connector failures, and insulation degradation can lead to overheating and fire [11]. The rapid growth of PV systems therefore demands the need for reliable fire detection technologies that can identify thermal anomalies early, improving system safety, reliability, and reducing economic losses [8]. Consequently, fibre optic sensing technologies have emerged as a promising alternative for continuous thermal monitoring in electrically harsh environments. FO-LHD system which is widely accepted in the market for fire detection provides a great advantage both to detect fire quickly and spatially accurate for both small and large installations. The quick measurement time, long measurement range, multiple measurement channels on a single controller and straightforward installation method makes it suitable for fire detection on PV installations. To ensure that appropriate fire detection and safety measures are incorporated from the start, Fire risk assessment should be integrated into the design and development of PV systems. Regular system testing, continuous monitoring, and periodic evaluation of component failures are essential to enhance system reliability, maintain power generation, and minimise fire risks [7].

Literature review

PV systems operate under high direct-current (DC) voltages that remain active whenever sunlight is present. This creates unique fire hazards compared to conventional electrical installations. DC arc faults are particularly dangerous because the current does not naturally pass through zero as in alternating current (AC) systems, allowing electrical arcs to persist for extended periods and ignite surrounding combustible materials [1]. Early detection of DC arc faults is critical for preventing PV fire incidents and advanced sensing technologies like FO-LHD capable of real-time monitoring are needed as they enable continuous temperature measurements with high spatial resolution over several kilometres while remaining immune to electromagnetic interference [3]. The temperature-based fault detection remains one of the most reliable approaches for identifying abnormal operating conditions in PV systems before catastrophic failures occur [4]. Fibre optic linear heat detection (FO-LHD) systems can accurately detect and localise fire under realistic fire scenarios, supporting their application in safety-critical infrastructures [5] [2]. The International Energy Agency (IEA) reports that the rapid deployment of distributed and utility-scale solar PV systems is accompanied by growing challenges related to grid integration, system reliability and operational management, reinforcing the need for advanced monitoring and early fault detection technologies for PV installations [9]. The literature anyhow shows a lack experimental studies for evaluating fire detection performance underneath PV panels, thereby providing a case for the present research.

Methodology and results

During the laboratory experiments, the FO-LHD sensor cable was installed beneath the PV panels in a

predefined routing configuration and secured using stainless-steel clips to maintain consistent cable placement and ensure repeatable thermal measurements.
The Fibre Optic LHD system consisting of the following components was used for the tests under the PV panels.

- Pre-spliced sensor cable with pigtails mounted at the back of the PV panels with the help of stainless-steel mounting clips
- FO-LHD controller

This fibre optic sensor cable was connected to the FO-LHD controller which was configured according to the EN54-22:2015 + A1:2020 and UL 521/ ULC-S530-M91 alarm thresholds for room protection. The sensor cable was installed in a S-form (refer Figure 1, Figure 4, Figure 7, Figure 10) at the bottom of the PV panels. This cable was then divided into different zones for determining the detections time at different areas under the PV panel with respect to the ignition location.
The tests performed showed that the FO-LHD system was able to detect the fire under the PV panels within a minute after the ignition (arc-ignition or wood crib-ignition). In the following sections the setup and data collected during the tests is presented. Each subsection corresponds to one test configuration and reports the alarm activation time, the temperature evolution for the different sensor cable zones and maximum temperature recorded by the FO-LHD.

Test Setup 1: Small PV Panel in East-West configuration

For this test a single off the shelf PV panel was installed in an East-West configuration angle on the roof surface. The sensor cable was installed at the bottom of the panel in a S-form as shown in the Figure 1. For the measurement with the FO-LHD the sensor cable was divided into 3-different measurement and alarming zones. The sensor cable in Zone 1 was directly above the ignition source and Zones 2 & 3 were farther away as seen in the Figure 1.

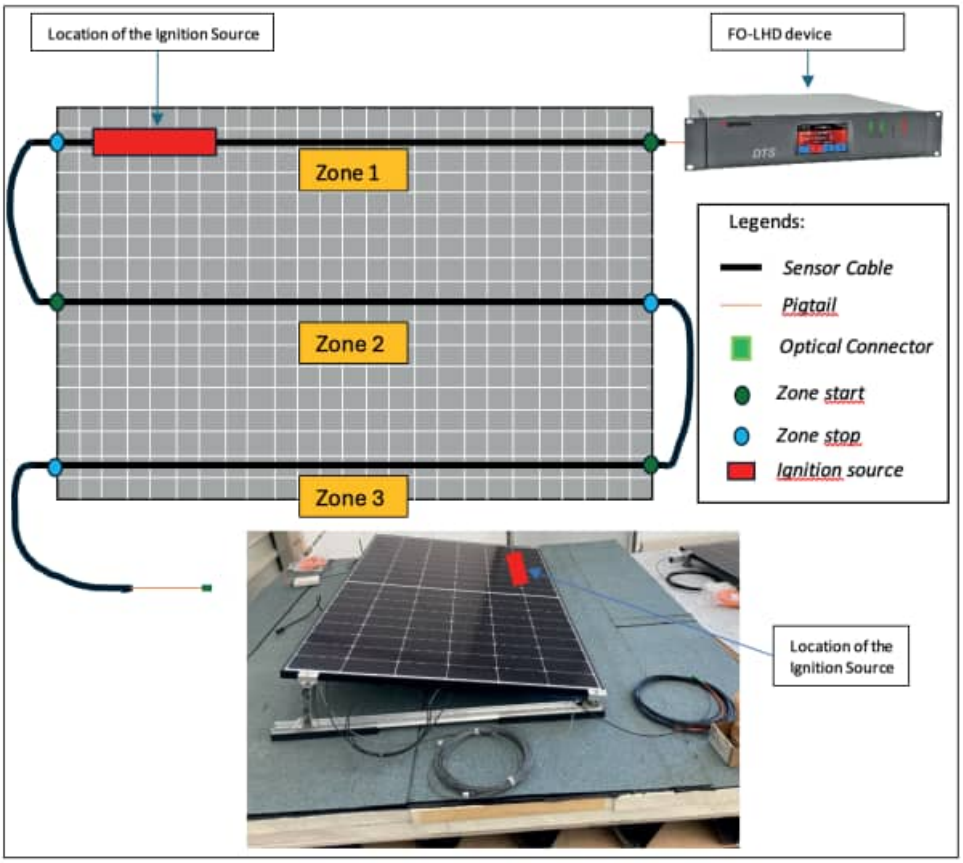


Figure 1: Sensor cable installation and zone configuration on Test Setup: 1

For the test an arc ignition source was used below the sensor cable installed for Zone 1. The source ignition was started at 13:14:41 with the alarm first detected on the FO-LHD device at 13:14:50.

Table 1: Detection times for the Test Setup: 1 on the PV panel

Zone	A1N – EN54-22				UL521 /ULC- S530		Time for Detection (s)
	GB1 (14°C/ 120s)	GB2 (20°C/ 240s)	GB3 (26°C/ 360s)	Max. A (60°C)	GA1 (11.1°C/ 80s)	Max. A (57°C)	
Zone 1	13:14:50 (59.40°C/120s)	13:14:50 (59.11°C/240s)	13:14:50 (59.55°C/360s)	13:14:55 80.77°C	13:14:50 (39.07°C/80s)	13:14:55 80.77°C	A1N: 9 UL: 9
Zone 2	13:15:35 (16.24°C/120s)	13:16:15 (21.50°C/240s)	13:16:40 (29.97°C/360s)	13:17:50 61.77°C	13:15:25 (13.51°C/80s)	13:17:25 58.69°C	A1N: 54 UL: 44
Zone 3	13:14:50 (22.00°C/120s)	13:14:55 (26.97°C/240s)	13:15:00 (32.74°C/360s)	13:15:25 62.33°C	13:14:55 (21.30°C/80s)	13:15:20 60.46°C	A1N: 9 UL: 14

Table 1 shows the trigger times for each alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions. The value of the detected parameter at the time of alarming can also be seen for every alarming criterion.
With the installation in the above manner the temperature profile for the start of the test (Figure 2) and for the entire test (Figure 3) can be seen to show the temperature rise based on the heat propagation below the PV panels.

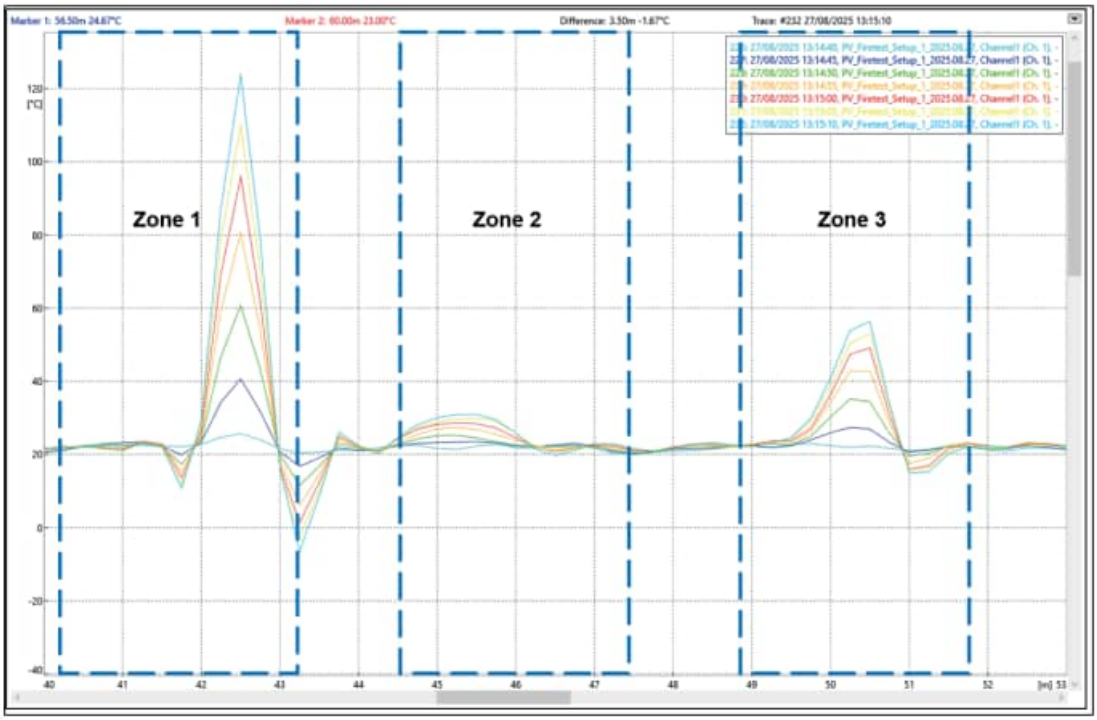


Figure 2: Temperature traces for different zones at the start of the fire test for Test Setup 1

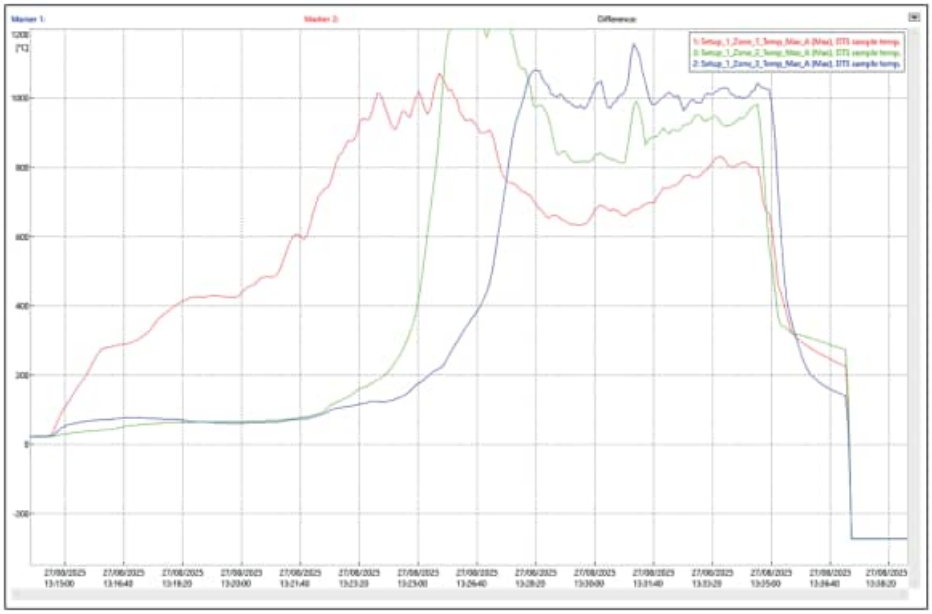


Figure 3: Maximum temperature in the zones for the entire test for Test Setup 1

The test shows that FO-LHD was able to detect the fire in the case of arc ignition at the location below the panel quickly for the lab conditions. The detection times confirm that the FO-LHD was able to provide an early warning, but it should be noted that its performance is influenced by installation geometry, the fire origin location, roof inclination, and fire propagation pathways.

Test Setup 2: Small PV Panel in East-West configuration with a physical barrier

For this test, a single off-the-shelf PV panel was installed at an East-West configuration angle on the roof surface. The sensor cable was installed at the bottom of the panel in a S-form as shown in the Figure 4. For the measurement with the FO-LHD, the sensor cable was divided into 3 different measurements and alarming zones. The sensor cable in Zone 1 was directly above the ignition source and Zones 2 & 3 were farther away as seen in the Figure 4.

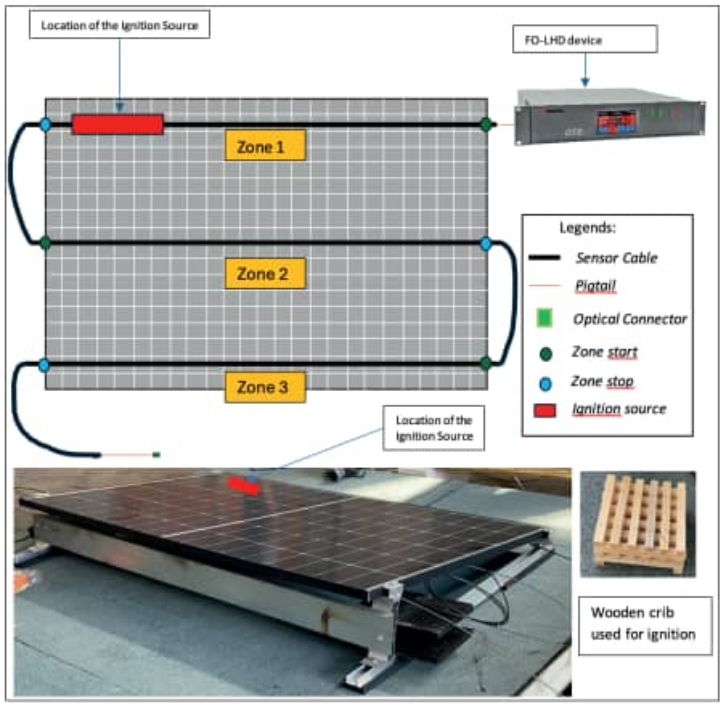


Figure 4: Sensor cable installation and zone configuration on Test Setup: 2.

A physical barrier to the upper side of the PV panel was installed as seen in Figure 4 to see the effect on heat propagation. For the test, a wooden crib was ignited below the sensor cable installed for Zone 1. The source ignition started at 14:51:46 with the alarm first detected on the DTS at 14:51:58. The following table shows the different alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions.

Table 2: Detection times for the Test Setup: 2 on the PV panel with physical barrier

Zone	A1N – EN54-22				UL521 /ULC- S530		Time for Detection (s)
	GB1 (14°C/ 120s)	GB2 (20°C/ 240s)	GB3 (26°C/ 360s)	Max. A (60°C)	GA1 (11.1°C/ 80s)	Max. A (57°C)	
Zone 1	14:51:58 (46.80°C/120s)	14:51:58 (48.56°C/240s)	14:52:03 (71.78°C/360s)	14:52:08 91.90°C	14:52:03 (46.83°C/80s)	14:52:08 91.90°C	A1N: 12 UL: 17
Zone 2	14:52:03 (18.41°C/120s)	14:52:18 (25.84°C/240s)	14:52:28 (30.53°C/240s)	14:53:33 60.42°C	14:52:08 (16.96°C/80s)	14:53:08 57.84°C	A1N: 17 UL: 22
Zone 3	14:52:18 (16.01°C/120s)	14:52:43 (21.95°C/240s)	14:53:23 (26.65°C/360s)	14:55:33 60.99°C	14:52:18 (13.43°C/80s)	14:54:43 57.27°C	A1N: 32 UL: 32

Table 2 shows the trigger times for each alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions. The value of the detected parameter at the time of alarming can also be seen for every alarming criterion.
With the installation in the above manner, the temperature profile for the start of the test (Figure 5) and for the entire test (Figure 6) can be seen to show the temperature rise based on the heat propagation below the PV panels.

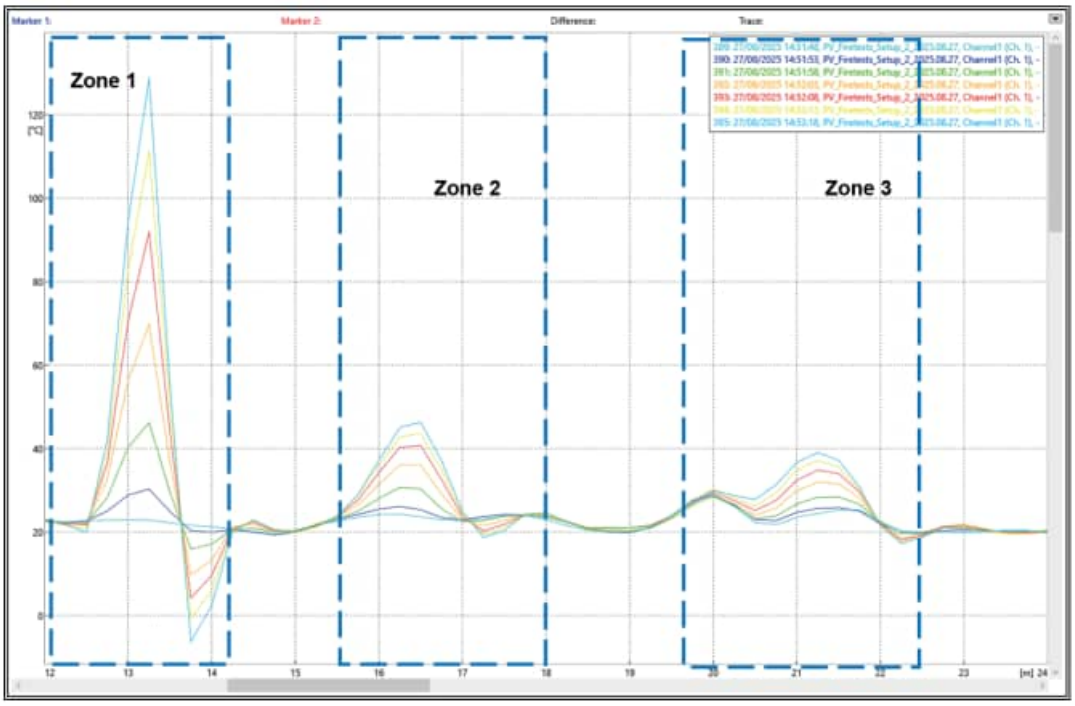


Figure 5: Temperature traces for different zones at the start of the fire test for Test Setup:2

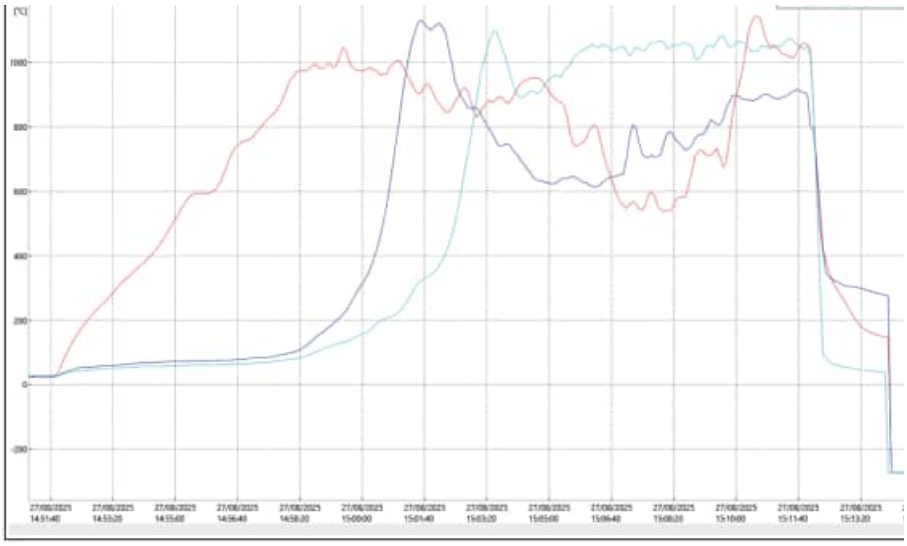


Figure 6: Maximum temperature in the zones for the entire test for Test Setup:2

The test showed that FO-LHD was able to detect the fire in the case of fire by igniting a wooden crib at the location below the panel quickly for the lab conditions. The detection times confirm that the FO-LHD was able to provide an early warning, but it should be noted that its performance is influenced by installation geometry, the fire origin location, roof inclination, and fire propagation pathways.
The physical barrier can be seen to influence the temperature propagation under the PV panels.

Test Setup 3: Small PV Panel parallel to the roof and roof angled at 20°C
For this test, a single off-the-shelf PV panel was installed flat parallel to the roof surface. The roof was at an angle of 20° horizontal.
The sensor cable was installed at the bottom of the panel in a S-form as shown in Figure 7. For the measurement with the FO-LHD, the sensor cable was divided into 3 different measurements and alarming zones. The sensor cable in Zone 1 was directly above the ignition source, and Zones 2 & 3 were farther away as seen in Figure 7.

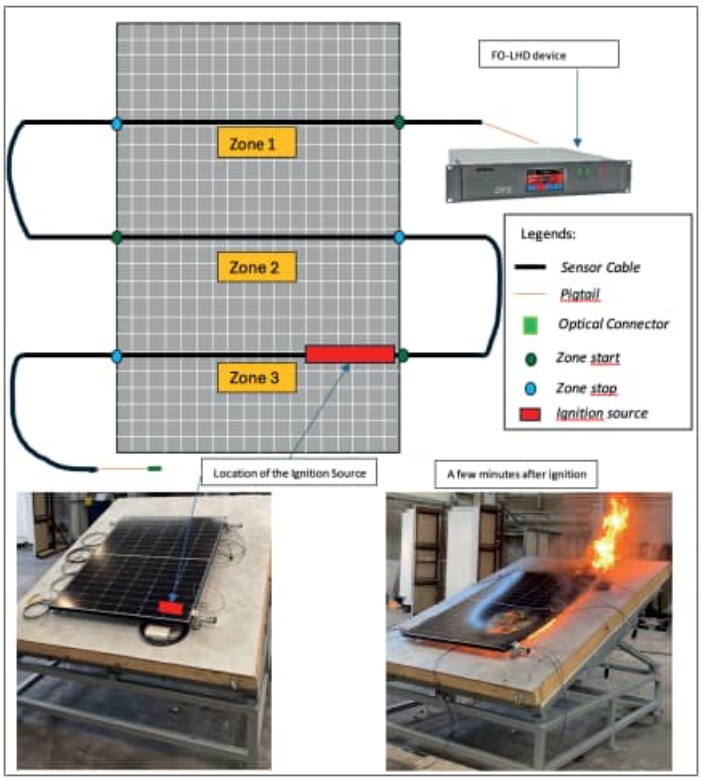


Figure 7: Sensor cable installation and zone configuration on Test Setup: 3

For the test, an electric arc was generated to cause the fire to start below the sensor cable installed for Zone 3. The source ignition started at 10:16:53 with the alarm first detected on the DTS at 10:17:42. The following table shows the different alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions.

Table 3: Detection times for the Test Setup: 3 on the PV panel

Zone	A1N – EN54-22				UL521 /ULC- S530		Time for Detection (s)
	GB1 (14°C/ 120s)	GB2 (20°C/ 240s)	GB3 (26°C/ 360s)	Max. A (60°C)	GA1 (11.1°C/80s)	Max. A (57°C)	
Zone 1	10:19:17 (16.12°C/120s)	10:19:42 (21.95°C/240s)	10:20:02 (30.46°C/360s)	10:20:37 64.55 °C	10:19:17 (12.84°C/80s)	10:20:32 61.62 °C	A1N: 144 UL: 144
Zone 2	10:18:22 (14.58°C/120s)	10:18:42 (22.38°C/240s)	10:19:02 (27.94°C/360s)	10:19:32 68.72°C	10:18:22 (13.79°C/80s)	10:19:27 63.58°C	A1N: 89 UL: 89
Zone 3	10:17:42 (14.60°C/120s)	10:18:02 (21.25°C/240s)	10:18:12 (29.81°C/360s)	10:18:37 63.72°C	10:17:42 (14.16°C/80s)	10:18:32 60.54°C	A1N: 49 UL: 49

Table 3 shows the trigger times for each alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions. The value of the detected parameter at the time of alarming can also be seen for every alarming criterion.

With the installation in the above manner, the temperature profile for the start of the test (Figure 8) and for the entire test (Figure 9) can be seen to show the temperature rise based on the heat propagation below the PV panels.

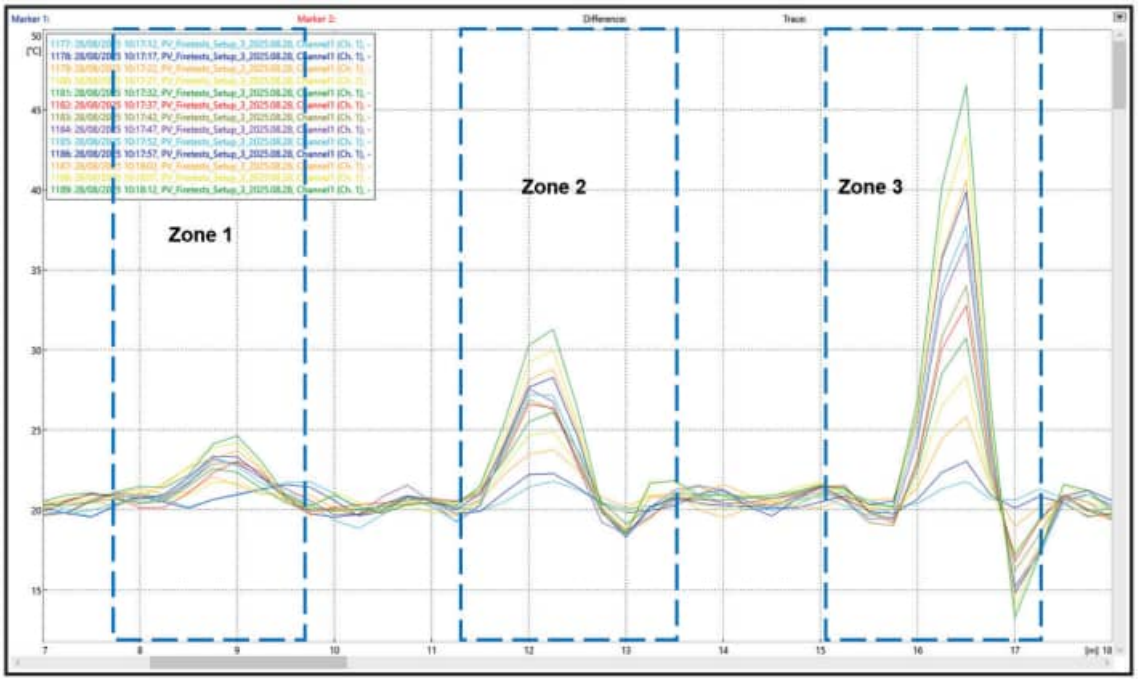


Figure 8: Temperature traces for different zones at the start of the fire test for Test Setup:3

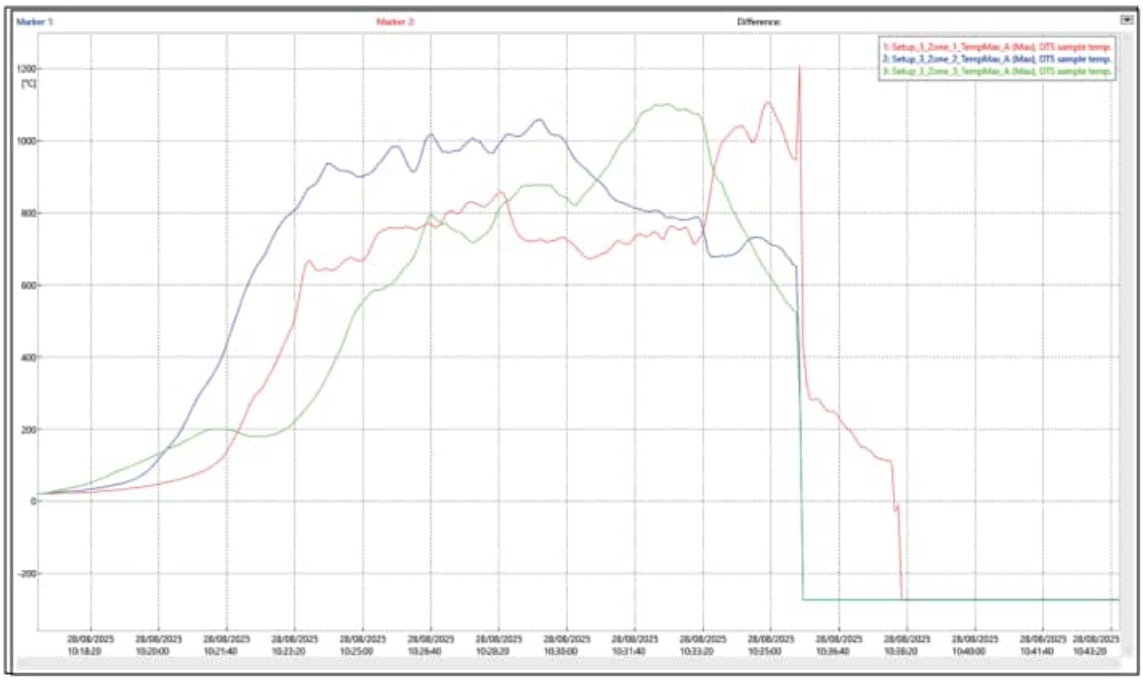


Figure 9: Maximum temperature in the zones for the entire test for Test Setup:3

The test showed that FO-LHD was able to detect the fire in the case of fire caused by an electric arc at the location below the panel quickly for the lab conditions. The detection times confirm that the FO-LHD was able to provide an early warning, but it should be noted that its performance is influenced by installation geometry, the fire origin location, and fire propagation pathways. Figure 9 shows that with the roof inclination the temperature propagation under the PV panels is uniform as compared to Figure 3 and Figure 6.

Test Setup 4: Large PV Panel installation in East-West configuration

For this test, a dual off-the-shelf PV panel was installed in an East-West configuration angle on the roof surface.
The sensor cable was installed at the bottom of the panel in a S-form as shown in the Figure 10. For the measurement with the FO-LHD, the sensor cable was divided into 6 different measurements and alarming zones. The sensor cable in Zone 1 was directly above the ignition source and Zones 2 - 6 were farther away as seen in the Figure 10.

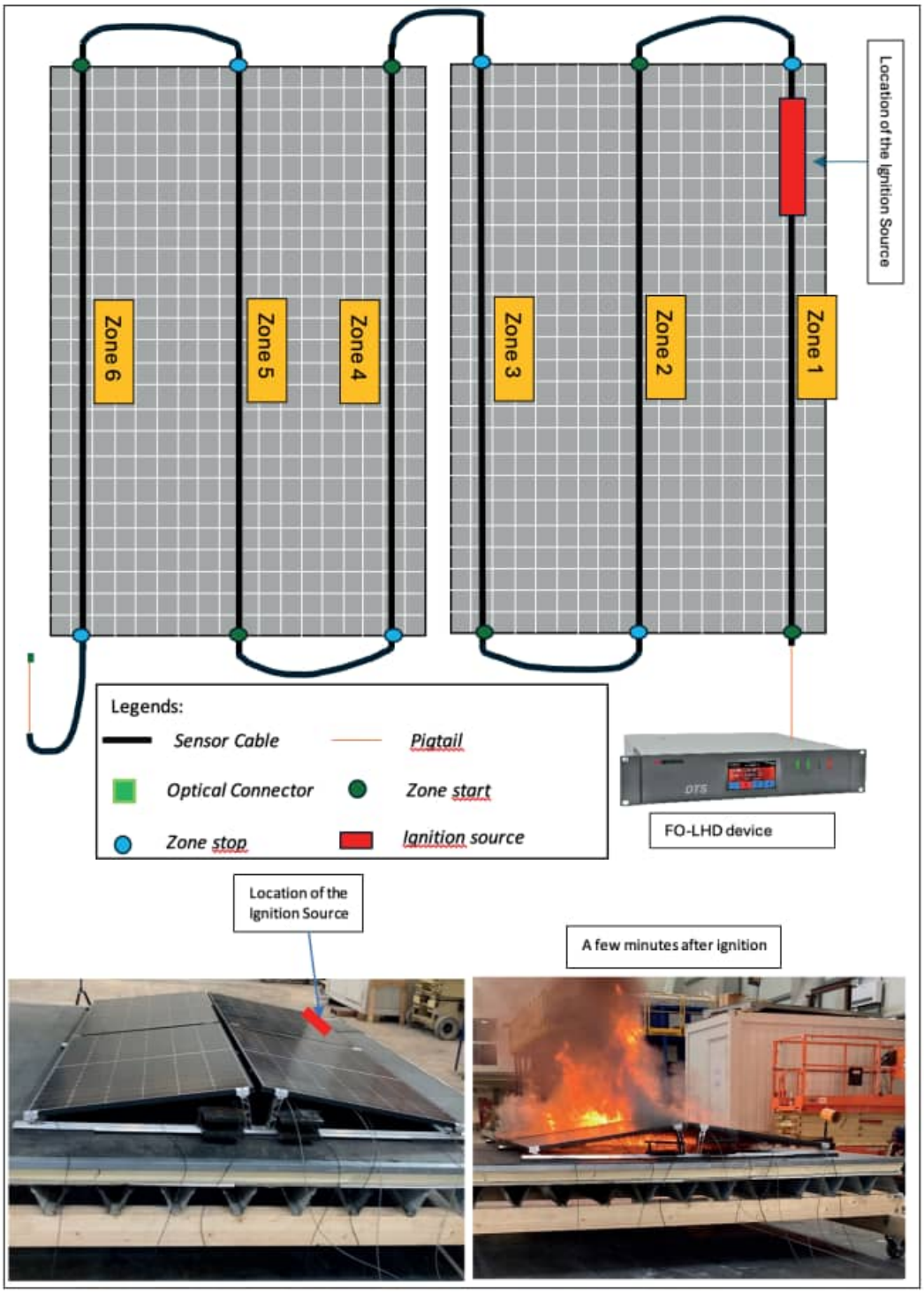


Figure 10: Sensor cable installation and zone configuration on Test Setup: 4

For the test, an electric arc was generated to cause the fire to start below the sensor cable installed for Zone 1. The source ignition started at 10:28:09 with the alarm first detected on the DTS at 10:28:21. The following table shows the different alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions.

Table 4: Detection times for the Test Setup: 4 on the PV panel

Zone	A1N – EN54-22				UL521 /ULC- S530		Time for Detection (s)
	GB1 (14°C/ 120s)	GB2 (20°C/ 240s)	GB3 (26°C/ 360s)	Max. A (60°C)	GA1 (11.1°C/ 80s)	Max. A (57°C)	
Zone 1	10:28:21 (39.46°C/120s)	10:28:21 (38.83°C/240s)	10:28:21 (38.99°C/360s)	10:28.36 80.71°C	10:28:21 (24.49°C/80s)	10:28:31 70.49°C	A1N: 12 UL: 12
Zone 2	10:29:01 (16.55°C/120s)	10:29:31 (21.92°C/240s)	10:29:56 (28.59°C/360s)	10:30:36 63.34°C	10:28:56 (13.96°C/80s)	10:30:31 61.07°C	A1N: 52 UL: 47
Zone 3	10:30:06 (17.76°C/120s)	10:30:31 (24.28°C/240s)	10:30:51 (28.55°C/360s)	10:31:36 65.24°C	10:30:01 (12.01°C/80s)	10:31.26 59.58°C	A1N: 117 UL:112
Zone 4	10.31.31 (14.35°C/ 120s)	10:31:41 (21.37°C/240s)	10:32:06 (29.14°C/360s)	10:32:46 62.42°C	10.31.26 (11.44°C/ 80s)	10:32.36 59.20°C	A1N: 202 UL:197
Zone 5	10:32.46 (15.99°C/ 120s)	10:33:16 (21.70°C/240s)	10:33:41 (26.66°C/360s)	10:34:31 66.97°C	10.32.36 (12.58°C/ 80s)	10.34.26 61.25°C	A1N: 277 UL: 267
Zone 6	10.35.46 (15.19°C/ 120s)	10:36:06 (20.96°C/240s)	10:36:41 (32.27°C/360s)	10:37.01 68.25°C	10.35.36 (12.47°C/ 80s)	10.36.56 63.26°C	A1N: 457 UL: 447

Table 4 shows the trigger times for each alarm criteria according to A1N (EN 54-22) and UL521 /ULC- S530 configured for the lab conditions. The value of the detected parameter at the time of alarming can also be seen for every alarming criterion.

With the installation in the above manner, the temperature profile for the start of the test (Figure 11) and for the entire test (Figure 12) can be seen to show the temperature rise based on the heat propagation below the PV panels.

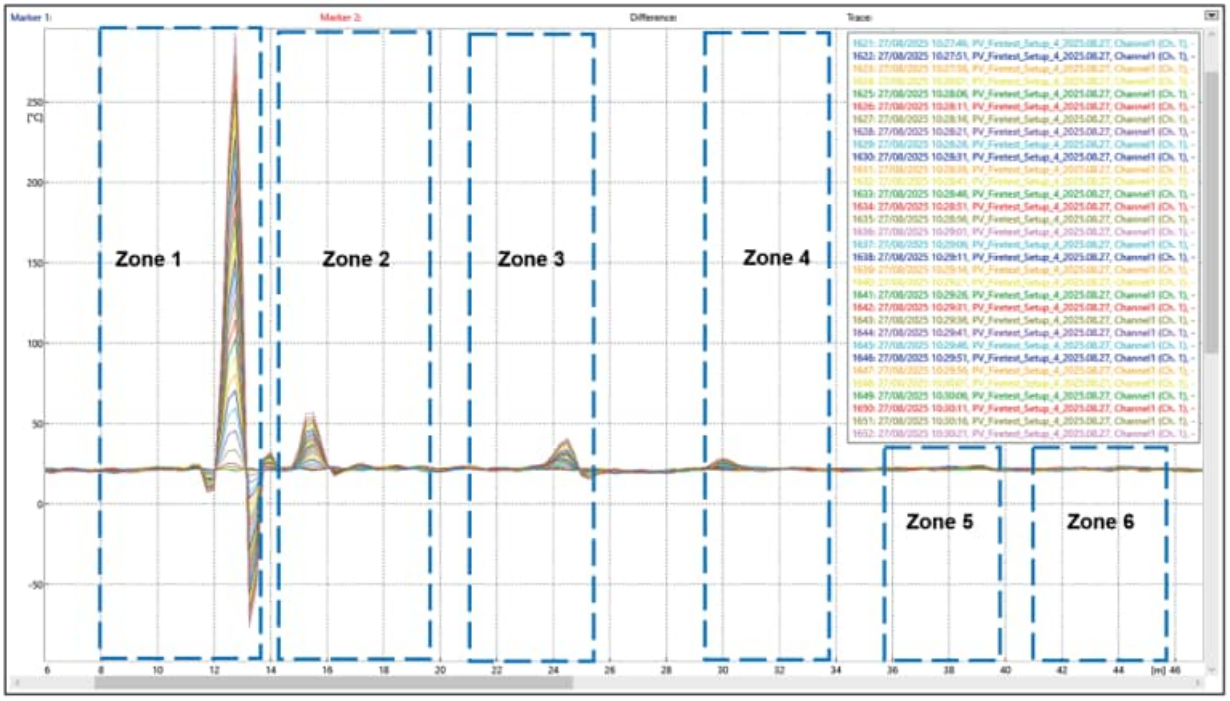


Figure 11: Temperature traces for different zones at the start of the fire test for Test Setup:4

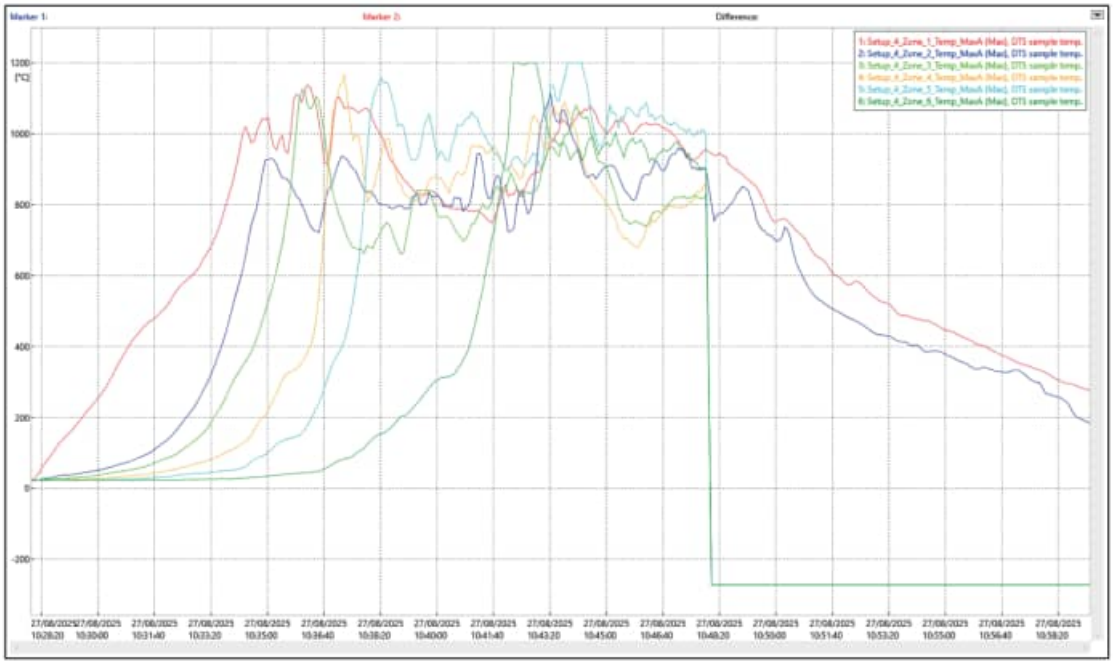


Figure 12: Maximum temperature in the zones for the entire test for Test Setup:4

The test showed that FO-LHD was able to detect the fire in the case of fire caused by an electric arc at the location below the panel quickly for the lab conditions. The detection times confirm that the FO-LHD was able to provide an early warning, but it should be noted that its performance is influenced by installation geometry, the fire origin location, roof inclination, and fire propagation pathways. It can be seen from the temperature profile in Figure 12 and trigger time from Table 4 that the temperature propagation occurs gradually and the detection is the fastest when the sensor cable is located above the ignition location.
As the real installations would have external environmental influences like wind, sunlight and the different ignition locations, the sensor cable installation should therefore take the factors into consideration for the design of the fire detection system setup.

CONCLUSION

Test Setup 1: Small PV Panel in East-West Configuration

A single PV panel was tested with the sensor cable divided into three zones. An arc ignition source below Zone 1 was detected within 9 seconds according to A1N and UL standards. Detection times for Zones 2 and 3 were longer, reflecting their distance from the ignition source. Temperature profiles showed heat propagation beneath the panels. The test confirmed the FO-LHD system's capability to provide early fire warnings, though performance depends on installation geometry and environmental factors.

Test Setup 2: Small PV Panel with Physical Barrier

Like Test 1 but with a physical barrier above the panel, a wooden crib ignition below Zone 1 was detected within 12 seconds (A1N) and 17 seconds (UL). Detection times increased with distance from the ignition source. Temperature profiles demonstrated heat propagation influenced by the barrier. The test reaffirmed the FO-LHD system's early detection capability, highlighting the impact of installation and environmental conditions

Test Setup 3: Small PV Panel Parallel to Roof at 20° Angle

A single PV panel installed parallel to a roof angled at 20° was tested with an electric arc ignition below Zone 3. Detection times were longer compared to previous tests, with the earliest alarm at 49 seconds (A1N) and 49 seconds (UL) in Zone 3. The results showed the influence of roof inclination and

fire location on detection times, affirming the importance of thoughtful sensor cable installation. The higher detections times as compared to the other setups can be attributed anyhow to the imperfection in the ignition process during the test.

Test Setup 4: Large PV Panel Installation in East-West Configuration

A dual PV setup was tested with a sensor cable divided into six zones. An electric arc ignition below Zone 1 was detected within 12 seconds (A1N and UL). Detection times increased progressively in zones further from the ignition source, with the last zone detecting fire after several minutes. Temperature profiles illustrated heat propagation under the panels. The test confirmed the FO-LHD system's scalability and effectiveness for larger installations, while emphasizing the influence of installation and environmental factors on performance.

Environmental factors such as extreme temperatures and rapid temperature fluctuations can affect detection outcomes, increasing the likelihood of false alarms [6]. The experimental results demonstrate that distributed FO-LHD system can detect fire events beneath PV panels rapidly, often within minutes of ignition. The system's distributed sensing capability allows accurate localization of temperature rises, enabling spatially resolved fire detection possible for both small and large PV installations. However, detection performance is influenced by factors such as installation geometry, fire origin location, roof inclination, fire propagation pathways, and environmental conditions like wind and sunlight. Therefore, sensor cable installation design and alarm parameter determination must consider these factors to optimize fire detection effectiveness in real-world PV system deployments.

As solar PV continues to dominate global renewable energy growth through 2030, the development of reliable early fire detection technologies, including distributed fibre optic linear heat detection systems, will become increasingly important for ensuring the safe and resilient operation of PV installations [9]. Future research in the area can focus on actual flame propagation under PV panels for different ignition location relative to the sensor cable in outdoor environments based in different geographical location to take into consideration the effect of local environmental factors.

REFERENCES

[1] Brooks. B._A Solar ABCs White Paper - The Ground-Fault Protection BLIND SPOT: A Safety Concern for Larger Photovoltaic Systems in the United States – Brooksolar.com 2012

[2] Guzowski, B.; Lakomski, M.; Bobinski, D. Hotspot Detection in Photovoltaic Modules with Fiber Bragg Grating and Brillouin Distributed Temperature Sensors. Energies 2025, 18, 6117. https://doi.org/10.3390/en18236117

[3] Song, L.; Lu, C.; Li, C.; Xu, Y.; Liu, L.;Wang, X. Progress of Photovoltaic DC Fault Arc Detection Based on VOSviewer Bibliometric Analysis. Energies 2024, 17, 2450. https://doi.org/10.3390/en17112450

[4] G. M. El-Banby, N. M. Moawad, B. A. Abouzalm, W. F. Abouzaid, E. A. Ramadan. Photovoltaic system fault detection techniques: a review. Neural Computing and Applications – 2023, https://doi.org/10.1007/s00521-023-09041-7

[5] J. Bielawski, D. Luan, X. Zhang, W. Xie, X. Huang, W. Węgrzyński, Distributed temperature sensor model for linear heat detection in tunnel fires, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 167, 2026, 107092, ISSN 0886-7798, https://doi.org/10.1016/j.tust.2025.107092.

[6] Bian, H.; Luo, X.; Zhu, Z.; Zang, X.; Tian, Y. Anomaly Detection in Spatiotemporal Data from Fiber Optic Distributed Temperature Sensing for Outdoor Fire Monitoring. Fire 2025, 8, 23. https://doi.org/10.3390/fire8010023

[7] M. Zamrazilova, A. Oulehlova Fire risk assessment of Photovoltaic panels based on the failure mode and effects analysis. Journal of Interdisciplinary Research. AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research. Volume: 12, Issue: 02, Year: 2022

[8] Internation Energy Agency. Trends in Photovoltaic Application 2025. Report IEA PVPS T1-48:2025. www.iea-pvps.org
[9] International Energy Agency (IEA) Renewables 2025 – Analysis and Forecast to 2030. Source: IEA. International Energy Agency Website: www.iea.org
[10] Khan, F.; Xu, Z.; Sun, J.; Khan, F.M.; Ahmed, A.; Zhao, Y. Recent Advances in Sensors for Fire Detection. Sensors 2022, 22, 3310. https://doi.org/10.3390/s22093310
[11] Z. Wu, Y. Hu, J. X. Wen, F. Zhou and X. Ye, "A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications," in IEEE Access, vol. 8, pp. 132466-132480, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010212.

CURRICULUM VITAE

Avinash Virale
Avinash Virale is the Project Engineering Team Lead at AP Sensing for the engineering team handling projects related to FO-LHD systems. On graduating from Savitribai Phule Pune University, he went on to complete his Master of Science in Mechanical Engineering from Rhine-Waal University of Applied Sciences. He has more than 7 years of experience in the field and has led and commissioned FO-LHD systems for fire detection and temperature monitoring for a variety of assets.

Anja Rätzke
Anja Rätzke holds a Master of Arts in Management from TU Kaiserslautern and a Bachelor of Engineering in Electrical Engineering from Baden-Württemberg Cooperative State University (DHBW) Stuttgart. She has many years of experience in project engineering at AP Sensing, including Fiber Optic Linear Heat Detection (FO-LHD) systems. In her current role as Program, Operations and Integration Manager, she focuses on process optimization, cross-functional collaboration, system integration, and project management.

Felix Heck
Felix Heck is the sales manager responsible for the fiber optic Linear Heat Detection system in Europe at AP Sensing. After finalizing his studies as Electrical engineer at the University of Applied Sciene in Hannover took a short look into the automotive industry before starting his career in special fire detection in 2004. Since then, he has worked in various sales and business development positions in international sales with intensive travel globally. For him it is an intrinsic motivation to provide the best possible solution for each individual project to ensure that human and animal lives as well as important assets are protected as best as possible.

Uwe Keppler
Uwe Keppler is Operations Director at AP Sensing and has over 30 years of experience in the fibre optic industry. After graduating from Baden-Württemberg Cooperative State University (DHBW) Stuttgart, he began his career in the field of fibre optic transmission and telecommunications networks. Since joining AP Sensing in 2009, he has played a key role in delivering hundreds of Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS) projects across applications such as Fiber Optic Linear Heat Detection, HV Power Cable Monitoring, and other DFOS solutions.

Bülent Toksoz
Bülent Toksoz is a technology and business development professional specializing in fiber optics. His work focuses on applying advanced sensing and monitoring technologies to improve the safety, reliability, security, and operational performance of critical assets. He currently serves as Regional Sales Manager for Central Asia at AP Sensing, supporting customers and partners in the development of technology-driven solutions for complex industrial and infrastructure applications.

BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE (BESS) ERKEN ALGILAMA VE SÖNDÜRME STRATEJİLERİ: SAHA TESTLERİ VE ÇÖZÜM ANALİZİ

Deniz Arzu ARAZ

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla birlikte Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin (BESS) kullanımı dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak bu sistemlerde kullanılan Lityum-İyon (Li-ion) bataryaların termal kaçak riski, yangın güvenliği açısından kritik bir zorluk teşkil etmektedir. Bu bildiride sunulan bulgular, Şili'de bir üniversitenin (Universidad de Santiago de Chile) test sahasında gerçekleştirilen, gerçek bir BESS konteyneri içerisindeki LFP batarya modüllerinin kontrollü mekanik zorlama ile termal kaçağa sürüklendiği ve iki aşamalı bir söndürme sisteminin (FK-5-1-12 temiz gaz + IG-100) canlı olarak test edildiği tam ölçekli bir saha testine dayanmaktadır. Bildiri, bu saha testi ile laboratuvar ölçekli test verilerini bir arada değerlendirerek; erken algılama teknolojilerini, çift aşamalı alev bastırma ve inert gazlı söndürme stratejisini ve ilgili tasarım parametrelerini teknik detaylarıyla incelemektedir.

Anahtar Sözcükler: BESS Yangın Güvenliği, Termal Kaçak, Li-ion Batarya, FK-5-1-12, IG-100, Erken Algılama.

ABSTRACT

With the rapid growth of renewable energy sources, the use of Battery Energy Storage Systems (BESS) is expanding worldwide. However, the thermal runaway risk of the Lithium-Ion (Li-ion) batteries used in these systems poses a critical fire safety challenge. The findings presented in this paper are based on a full-scale field test conducted at a university test site in Chile (Universidad de Santiago de Chile), in which LFP battery modules inside an actual BESS container were driven into thermal runaway through controlled mechanical force and a two-stage suppression system (FK-5-1-12 clean agent + IG-100) was live-tested. Combining this field test with module-level laboratory data, the paper examines, in technical detail, early detection technologies, the two-stage clean-agent suppression and inert-gas extinguishing strategy, and the related design parameters.

Keywords: BESS Fire Safety, Thermal Runaway, Li-ion Battery, FK-5-1-12, IG-100, Early Detection.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada sunulan bulgular, Şili'de bir üniversite (Universidad de Santiago de Chile - USACH) tesisinde, Longovilo test sahasında gerçekleştirilen tam ölçekli bir saha testine dayanmaktadır. Önceki laboratuvar araştırmaları ışığında en uygun pratik çözümü belirlemek amacıyla, özel bir kuruluşun girişimiyle, sistem entegratörleri ve son kullanıcılardan oluşan kilit paydaşlarla birlikte, bu ıssız ve tenha sahada canlı bir test düzeneği kurulmuştur. Test kapsamında, gerçek bir BESS konteyneri içerisine yerleştirilen LFP batarya mo-

dülleri kontrollü mekanik zorlama ile termal kaçağa sürüklenmiş; ardından iki aşamalı bir söndürme sistemi — FK-5-1-12 temiz gazlı söndürme ajanı ve IG-100 — canlı olarak devreye alınarak sonuçlar ölçülmüştür [8, 12]. Bu bildiride aktarılan saha testi bulguları, aşağıda özetlenen modül seviyesi laboratuvar verileriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Batarya Enerji Depolama Sistemleri (BESS), güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin depolanmasını ve talep anında şebekeye verilmesini sağlayarak şebeke esnekliğinin ve dekarbonizasyon hedeflerinin kritik bir bileşeni haline gelmiştir. Şebeke ölçeğindeki uygulamaların yanı sıra, veri merkezleri gibi kritik altyapılarda kesintisiz güç kaynağı işlevi görmesi, BESS kurulumlarının hem fiziksel ölçek hem de teknik karmaşıklık açısından hızla büyümesine yol açmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde batarya depolama kapasitesi 2025 yılının birinci çeyreğinde önceki yılın aynı dönemine göre %65 artış göstermiştir [1].

Bu büyümeyle birlikte, BESS tesislerinde kullanılan Lityum-İyon (Li-ion) bataryaların arıza durumunda gösterdiği termal kaçak davranışı, sektörün karşılaştığı en kritik yangın güvenliği sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Tek bir hücrede başlayan bir arıza, saniyeler içinde komşu hücrelere yayılarak modül ve raf seviyesinde kontrolsüz bir olaya dönüşebilmekte; bu süreçte açığa çıkan yanıcı ve toksik gazlar ayrıca patlama riski oluşturmaktadır. Bu bildirinin amacı, söz konusu riski sınırlamaya yönelik erken algılama, alev bastırma ve inert gazlı söndürme stratejilerini; laboratuvar testleri ve yukarıda tanımlanan gerçek ölçekli saha testinden elde edilen verilerle birlikte, ürün ve marka bağımsız bir teknik çerçevede sunmaktır.

2. BESS YANGIN RİSKİ: TERMAL KAÇAK MEKANİZMASI

2.1 Lityum-İyon Pil Kimyası ve Isıl Davranış

Li-ion hücreler, bir ayırıcı (separatör) ile birbirinden fiziksel olarak ayrılmış anot ve katot elektrotlarının iletken bir sıvı elektrolit içerisinde konumlandırılması esasına dayanır. Deşarj sırasında lityum iyonları elektrolit içinden hareket ederken elektronlar dış devre üzerinden akarak kullanılabilir güç sağlar; şarj sırasında bu akış tersine çevrilir. Bu elektrokimyasal döngünün yüksek verimliliği, Li-ion hücreleri yüksek kapasiteli şebeke depolama uygulamaları için tercih edilen teknoloji haline getirmiştir; ancak aynı kimyasal yapı, kontrolsüz koşullarda hızlı ve kendini besleyen bir ısı üretimine de yatkındır.

2.2 Termal Kaçağın Tetikleyici Etkenleri

Bir hücrede termal kaçağı başlatan anomaliler genel olarak üç kategoride sınıflandırılabilir:

- Mekanik etki: Titreşim kaynaklı bağlantı gevşemeleri, nem ve korozyon nedeniyle elektriksel direncin artması ve yerel sıcak nokta oluşumu.
- Elektriksel etki: Şarj/deşarj döngülerinde gelen gerilim dalgalanmalarının hücre kimyasını dengesizleştirmesi.
- Termal etki: Soğutma sisteminin arızalanması veya sızıntı yapması sonucu muhafaza içi ortam sıcaklığının hücrelerin kararlı çalışma aralığının üzerine çıkması.

Bu üç tetikleyici etken kategorisinin sürekli izlenmesi — titreşim, kızılötesi termal, nem/korozyon, gelen

hat güç kalitesi, soğutucu sızıntısı ve ortam sıcaklığı sensörlerinden oluşan çok parametreli bir sensör ağı ile — olayın önlenmesinde ilk savunma hattını oluşturur.

2.3 Hücreden Hücreye Yayılım Mekanizması

BESS üniteleri binlerce hücreyi sıkı konfigürasyonlarda barındırdığından, arızalanan bir hücreden açığa çıkan aşırı ısı, komşu hücrelerin ısıl yalıtımını hızla aşarak bir domino etkisi yaratır. Bu yayılım hücreden hücreye, ardından modülden modüle ve nihayetinde raf veya konteynerin tümüne ilerleyebilir. Yayılıma katkıda bulunan üç temel mekanizma şunlardır: paylaşılan bara ve iç raf yapıları üzerinden iletken ısı transferi; 600°C (1.100°F) üzerindeki sıcaklıkların doğrudan alev kontağı olmadan komşu modülleri tutuşturabildiği radyant ısı; ve birden fazla hücrenin eş zamanlı çıkan gaz (off-gaz) salınımı (venting) sonucu oluşan yanıcı/toksik gaz bulutu. Elektrolitin ısıl ayrışması sonucu açığa çıkan bu gaz (off-gaz) karışımının başlıca bileşenleri karbondioksit (CO2), karbon monoksit (CO), hidrojen (H2), metan (CH4), etilen (C2H4) ve etandır (C2H6) [2]; bu karışımın ortam yeterince havalandırılmadığında deflagrasyon veya patlamaya yol açabildiği bilinmektedir. Bu kendini besleyen döngü 600°C'yi aşan sıcaklıklara ulaşabilmekte ve geleneksel söndürme yöntemleriyle müdahaleyi son derece zorlaştırmaktadır.

3. KAPSAM VE YÖNTEM

3.1 Erken Algılama Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Termal kaçağa girmeden önce, hücre içi basınç artışı elektrolit buharının dışarı atılmasına (venting) neden olur. Bu aşamada tespit edilen uçucu organik bileşikler (VOC) ve hidrojen (H2), en güvenilir erken uyarı göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen erken algılama yaklaşımları; uçucu organik bileşenler (VOC) ve Hidrojen (H2) gaz sensörleri, kızılötesi termal görüntüleme ve radyant enerji algılama, aspirasyonlu (hava örneklemeli) duman algılama ile geleneksel nokta/hat tipi duman ve ısı dedektörleridir. Bu algılama katmanlarının kapsamı NFPA 855 standardı ile tanımlanmakta [3], sistemlerin ısı açığa çıkış hızı, çıkan gaz (off-gaz) içeriği ve deflagrasyon basıncı gibi parametreler bakımından performans doğrulaması ise UL 9540A test yöntemi ile gerçekleştirilmektedir [4]. Sensörlerden alınan veriler bir yangın alarm-söndürme kontrol panosu üzerinden değerlendirilerek, Batarya Yönetim Sistemine (BMS) erken uyarı iletilmesini ve gerektiğinde otomatik söndürme/soğutma tetiklemesini mümkün kılar.

3.2 Test Programları ve Metodoloji

Bu bildiride sunulan bulgular, kronolojik olarak Tablo 1'de özetlenen dört farklı araştırma ve test programından derlenmiştir.

Tablo 1. Araştırma ve test programları kronolojisi

Dönem	Program / Ortak Kurum	Odak Alanı	Kaynak
2016-2020	ABD merkezli üniversite araştırma ortaklığı	Yüksek kapasiteli enerji depolama sistemlerinde yangın güvenliği; modül seviyesinde hücreden hücreye yayılım hızı, ısı açığa çıkış oranı ve çıkan gaz (off-gaz) içeriği ölçümleri	[5]
2022-2024	Çin merkezli üniversite araştırma ortaklığı	Çok erken algılama teknolojilerinin termal kaçağı önlemedeki rolünün incelenmesi	[6]
2022	Sektörel araştırma çalışması	Tipik hücre çıkan gaz (off-gaz) karışımları için Sınırlayıcı Oksijen (Oksidan) Konsantrasyonunun (LOC) belirlenmesi	[7]
2025	Yerel üniversite test spesifikasyonu (Şili)	Gerçek ölçekli, mekanik zorlama ile termal kaçak oluşturulmuş BESS konteyneri üzerinde canlı söndürme testi; algılama/söndürme yaklaşımının doğrulanması	[8]

Modül seviyesi laboratuvar testleri, hücre dizilimlerinin farklı atmosfer koşulları altında (hava, azot, temiz gazlı söndürme ajanı) mekanik zorlamaya tabi tutulması ve yayılım hızının, ısı açığa çıkış oranının ve çıkan gaz (off-gaz) içeriğinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Gerçek ölçekli saha testi ise, Bölüm 1'de tanımlandığı üzere, 2025 yılında Şili'de bir test sahasında (Longovilo), gerçek bir batarya rafı ve konteyneri üzerinde, mekanik zorlama ile termal kaçak oluşturularak yürütülen canlı bir yangın testidir; test protokolü UL 9540A test yönteminin ilkeleri esas alınarak yerel üniversite tarafından hazırlanmıştır [4, 8]. Test detayları Bölüm 4.2›de sunulmaktadır.

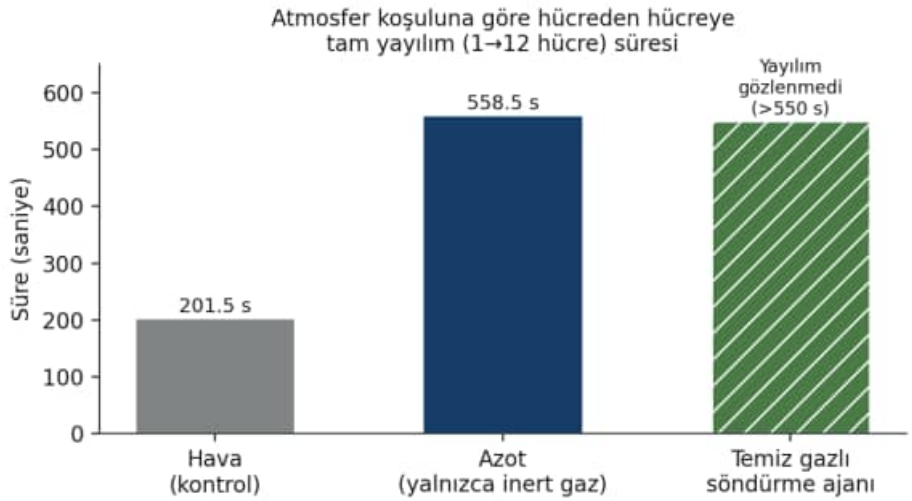
4. BULGULAR

4.1 Modül Seviyesi Test Sonuçları: Atmosfer Koşulunun Yayılım Üzerindeki Etkisi

Üç farklı atmosfer koşulu altında yürütülen hücre dizisi testlerinde, ilk hücrenin termal kaçağa girmesinden dizideki 12 hücrenin tümünün etkilenmesine kadar geçen süre karşılaştırılmıştır (Tablo 2, Şekil 1).

Tablo 2. Atmosfer koşuluna göre hücreden hücreye yayılım süresi

Ortam Koşulu	1 → 12 Hücre Yayılım Süresi	Gözlem
Hava (kontrol grubu)	~201,5 s	Hızlı, kesintisiz kademeli yayılım
Azot (yalnızca inert gaz)	~558,5 s	Yayılım süresi ~%277 uzadı; 12 hücreye yayılım nihayetinde gerçekleşti
Temiz gazlı söndürme ajanı	Yayılım gözlenmedi	Tetiklenen tek hücre (t≈141 s) izole kaldı; 550 s boyunca komşu hücreye geçiş olmadı



Şekil 1. Atmosfer koşuluna göre hücreden hücreye tam yayılım (1→12 hücre) süresi [5, 12]

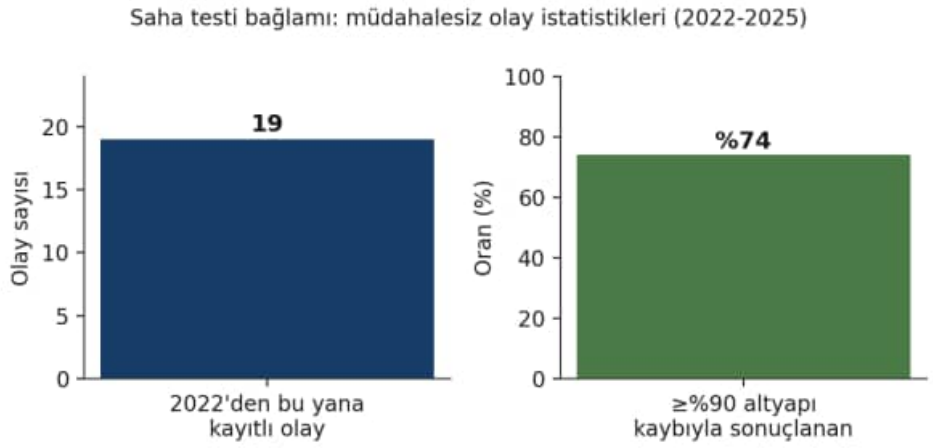
Sonuçlar, yalnızca inert gazın (azot atmosferi) yayılım hızını önemli ölçüde düşürdüğünü, ancak tek başına yayılımı durduramadığını göstermektedir. Buna karşılık, temiz gazlı söndürme ajanının varlığında tetiklenen tek hücre dışında hiçbir komşu hücrenin termal kaçağa girmediği gözlenmiştir. Bu bulgu, tek bileşenli bir çözümün yetersiz kalabileceğini; erken evrede devreye giren bir soğutma/bastırma katmanının ise yayılımı büyük ölçüde önleyebildiğini ortaya koymaktadır.

4.2 Gerçek Ölçekli Saha Testi Bulguları

Bölüm 1'de tanımlanan Şili saha testinin bağlam verileri ve test parametreleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Şili saha testi bağlam verileri

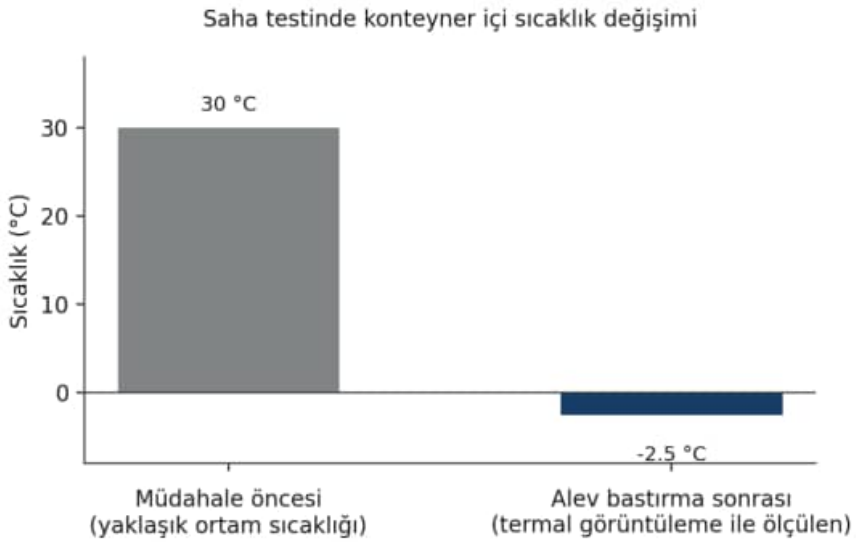
Parametre	Değer
Test edilen batarya kimyası	LFP (Lityum Demir Fosfat)
Kullanılan söndürme ajanları	FK-5-1-12 (temiz gaz, alev bastırma) + IG-100 (yeniden alevlenme önleme)
2022'den bu yana kayıtlı termal kaçak olayı sayısı	19
≥%90 altyapı kaybıyla sonuçlanan olay oranı	%74
Test tarihleri	13 ve 17 Kasım 2025
Test sahası	Longovilo, Şili
Test senaryoları	Kapalı dış mekân kabini ve iç mekân batarya rafı
Test spesifikasyonu	Yerel üniversite (USACH) [8]



Şekil 2. Saha testi bağlamı: müdahalesiz olay istatistikleri, 2022-2025 [8]

%74 oranındaki ağır hasar istatistiği, herhangi bir bastırma/inert gazlı söndürme müdahalesi olmadan gerçekleşen olaylarda hasarın son derece hızlı ilerlediğini ve neredeyse tesisin tamamının kaybedilmesine yol açtığını göstermektedir.

Test kapsamında gerçek LFP batarya rafları mekanik zorlamaya tabi tutularak termal kaçak koşulu oluşturulmuş ve iki aşamalı bir koruma stratejisi uygulanmıştır: Aşama 1'de FK-5-1-12 temiz gazlı söndürme ajanı ile hızlı alev bastırma ve soğutma; Aşama 2'de IG-100 ile uzun süreli yeniden alevlenme önleme. Alev bastırma, NFPA 2001 uyumlu bir tasarım konsantrasyonunda (%9) 10 saniyenin altında gerçekleştirilmiş [9, 12]; termal görüntüleme kamerası ile ölçülen konteyner içi sıcaklık, müdahale sonrasında -2,5°C'ye (27,5°F) kadar düşürülmüştür (Şekil 3). Bu sonuç, ajanın birincil arızalı hücrenin iç kimyasal reaksiyonunu durdurmasa da, dışa doğru alev yayılımını ("torch effect") etkin biçimde engelleyerek komşu modüllerin korunmasında kritik rol oynadığını göstermektedir. İkinci aşamada devreye giren IG-100 ise ortamdaki oksijen konsantrasyonunu düşürerek, hâlâ yüksek sıcaklıktaki hücrelerin ortamda kalan yanıcı gazları yeniden tutuşturmasını önlemekte ve konteyner içinde pozitif basınç sağlayarak dışarıdan oksijen girişini engellemektedir.



Şekil 3. Saha testinde konteyner içi sıcaklık değişimi [12]

4.3 İnert Gazlı Söndürme Tasarım Parametreleri

Alev bastırma sonrası ortamın yeniden alevlenmeye karşı korunması için oksijen konsantrasyonunun, tipik çıkan gaz (off-gaz) karışımının Sınırlayıcı Oksidan Konsantrasyonunun (LOC) altına düşürülmesi gerekmektedir. Saha testinde kullanılan IG-100 konsantrasyonu ile kalan oksijen konsantrasyonu arasındaki ilişki, atmosferik oksijen oranının (yaklaşık %20,9) seyreltilmesi esasına dayanır [12]:

$$O2\ (\%) \approx 20{,}9 \times (1 - C/100)$$

Burada C, ortama verilen IG-100'ün hacimsel yüzde konsantrasyonudur. Hedef O2 konsantrasyonu %5,95 için bu ifade çözüldüğünde C ≈ %72 bulunur; bu değere uygulanan ek %15 emniyet payı ile nihai tasarım konsantrasyonu ≈ %81'e ulaşır. Bu tasarım mantığı oksijen seyreltme fiziğine dayanır; bu çalışmada kullanılan parametreler, azot esaslı bir inert gaz olan IG-100 için hesaplanmış olup Tablo 4'te özetlenmiştir [12].

Tablo 4. IG-100 için inert gazlı söndürme tasarım konsantrasyonu hesap mantığı

Parametre	Değer / Esas
Sınırlayıcı Oksidan Konsantrasyonu (LOC), tipik hücre çıkan gaz (off-gaz) karışımı	≈ %7 [10]
Güvenlik marjı kuralı (LOC < %7,5 için) [11]	Sürekli izleme yoksa LOC'nin en fazla %40'ında çalışma; emniyet kilitlemesi varsa LOC'nin ≈%15 altında sabit değer
Hedef oksijen konsantrasyonu	≈ %5,95
Buna karşılık gelen IG-100 tasarım konsantrasyonu	≈ %72
Ek %15 emniyet payı ile nihai tasarım konsantrasyonu	≈ %81
Uzatılmış bekleme süresi için başlangıç konsantrasyonu	Muhafaza sızdırmazlığına bağlı olarak %95'e kadar

Ayrıca, hiçbir muhafazanın tam sızdırmaz olmaması nedeniyle, ilk müdahale ekiplerinin sahayı değerlendirmesi için gereken tipik 30 dakikalık bekleme süresini sağlamak amacıyla başlangıç konsantrasyonunun daha yüksek tutulması (muhafaza sızdırmazlığına bağlı olarak %95'e kadar) önerilmektedir.

5. TARTIŞMA: ÇİFT AŞAMALI KORUMA STRATEJİSİ VE SINIRLAMALARI

5.1 Neden Tek Bileşenli Çözümler Yetersizdir

Elde edilen laboratuvar ve saha verileri birlikte değerlendirildiğinde, ne tek başına alev bastırma ne de tek başına inert gazlı söndürmenin BESS yangın riskini tam olarak yönetemediği görülmektedir. Yalnızca alev bastırma, ortamda birikmiş yanıcı gazların yeniden alevlenmesini engelleyemez; yalnızca inert gazlı söndürme ise hücreden hücreye yayılımı yavaşlatsa da durduramaz. Bu nedenle, Bölüm 4.2'de aktarılan saha testinde de uygulandığı gibi, önerilen yaklaşım iki mekanizmanın art arda devreye alındığı çift aşamalı bir koruma stratejisidir: saniyeler içinde devreye giren hızlı soğutma/alev bastırma katmanı (FK-5-1-12), ardından uzun süreli bir inert gazlı söndürme katmanı (IG-100).

5.2 Sınırlamalar

Bu stratejinin kapsamı ve sınırları açıkça belirtilmelidir. Birincil arızalı hücrenin iç kimyasal reaksiyonu kendini besleyen bir süreç olduğundan, harici bir müdahaleyle güvenilir biçimde durdurulamaz; müdahalenin amacı bu hücrenin komşularına yayılımını ve dış alevlenmeyi önlemektir. Ayrıca performans, batarya kimyasına, şarj durumuna, arıza moduna ve sistem tasarımına bağlı olarak değişebilir; tüm batarya kimyaları ve konfigürasyonları için tek bir sonucun garanti edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle çözüm, tek bir bileşene değil, algılama, alev bastırma, inert gazlı söndürme ve pasif koruma önlemlerinin bütünleşik bir kombinasyonuna dayandırılmalıdır.

5.3 Pasif Koruma Önlemleri ve Kod Uyumu

NFPA 855, aktif algılama ve söndürme katmanlarına ek olarak, yerel yönetmelik ve saha bazlı Tehlike Azaltma Analizine bağlı olarak çeşitli pasif koruma tedbirlerini de zorunlu kılmaktadır [3]:

- Deflagrasyon tahliyesi: İç basıncı güvenli biçimde tahliye eden, muhafazanın parçalanmasını önleyen tahliye panelleri.
- Fiziksel ayırma: Batarya kümeleri ile çevredeki yapılar arasında dış hasarı sınırlayan minimum mesafe gereksinimleri.

Bunlara ek olarak, ilk müdahale ekiplerinin batarya kimyası, gerilim seviyeleri ve otomatik söndürme sistemlerinin varlığı gibi kritik bilgilere acil durumda anında erişebilmesi için standartlaştırılmış işaretleme gerekliliği de sistemin bütünsel güvenlik yaklaşımının bir parçasıdır.

6. SONUÇ

Bu bildiride sunulan, Şili'de gerçek bir BESS konteyneri üzerinde yürütülen tam ölçekli saha testi ile laboratuvar ölçekli test verileri, BESS tesislerinde yangın riskinin yönetiminde erken algılama ile Batarya Yönetim Sistemi entegrasyonunun, olayın termal kaçağa dönüşmeden önlenmesinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Termal kaçağın gerçekleştiği durumlarda ise, hızlı devreye giren bir FK-5-1-12 temiz gazlı alev bastırma/soğutma aşaması ile onu takip eden, IG-100 ile gerçekleştirilen uzun süreli bir inert gazlı söndürme aşamasından oluşan çift aşamalı bir koruma stratejisinin, hücreden hücreye yayılımı ve yeniden alevlenmeyi anlamlı ölçüde sınırladığı; su bazlı sistemlerin aksine ekipmana zarar vermeden tesisin en az hasarla operasyona geri dönmesine imkân tanıdığı, gerçek saha koşullarında doğrulanmıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşımın etkinliği batarya kimyası, sistem tasarımı ve arıza moduna bağlı olarak değişebileceğinden, nihai koruma tasarımının her tesis için ayrı bir Tehlike Azaltma Analizi ve ilgili standartlara uygun mühendislik değerlendirmesiyle belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, “Battery Storage Capacity Data”, EIA, 2025.

[2] ZOU, K., LU, K.H., Venting composition and rate of large-format LiNi0.8Co0.1Mn0.1O2 pouch power battery during thermal runaway, International Journal of Heat and Mass Transfer, Cilt 195, Sayfa 123133, 2022.

[3] NFPA, “NFPA 855: Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems”, National Fire Protection Association, 2023.

[4] UNDERWRITERS LABORATORIES, “UL 9540A: Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems”, 2023.

[5] UNIVERSITY OF MARYLAND, “Fire Safety of High-Capacity Electrical Energy Storage Systems”, Araştırma Programı, 2016-2020.

[6] TSINGHUA UNIVERSITY, “Role of Very Early Detection Technologies in Thermal Runaway Prevention”, Araştırma Programı, 2022-2024.

[7] SEKTÖREL ARAŞTIRMA ÇALIŞMASI, “Tipik Çıkan Gaz (Off-gaz) Kimyasalları için Sınırlayıcı Oksijen Konsantrasyonunun Belirlenmesi”, 2022.

[8] UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE, “BESS Gerçek Ölçekli Saha Testi Spesifikasyonu, Longovilo, Şili”, 2025.

[9] NFPA, “NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems”, National Fire Protection Association, 2022.

[10] ASTM INTERNATIONAL, “ASTM E2079: Standard Test Methods for Limiting Oxygen (Oxidant) Concentration in Gaseous Extinguishing Agent-Air Mixtures”, 2018.

[11] NFPA, “NFPA 69: Standard on Explosion Prevention Systems”, National Fire Protection Association, 2024.

[12] KIDDE-FENWAL, LLC, “Battery Energy Storage Systems (BESS): A Comprehensive Approach to Fire Protection”, White Paper WP108, 2026.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Deniz ARAZ, 1999 yılında Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuş, işletme alanında MBA derecesini tamamlamıştır. Yangın söndürme sistemleri sektöründe 26 yılı aşkın deneyime sahip olup, halen KiddeFenwal bünyesinde İş Geliştirme Müdürü olarak görev yapmaktadır. Gazlı yangın söndürme sistemleri, uluslararası yangın standartları ve yangın güvenliği uygulamaları alanlarında uzmanlaşmıştır. TÜYAK Yönetim Kurulu Üyesi ve Gazlı Söndürme Sistemleri Komitesi Başkanı olarak sektörel teknik çalışmalara katkı sağlamakta, ayrıca Yangın Mühendisliği dergisinin yayın çalışmalarında görev almaktadır.

EN54-25 KAPSAMINDA KABLOSUZ YANGIN ALGILMA SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ : TEKNİK GERÇEKLER ve TÜRKİYE' DE KABUL BARİYERLERİNİN ANALİZİ

İlker TOPUZ

ÖZET

Kablosuz yangın algılama sistemleri, özellikle tarihi yapılar, sağlık tesisleri, eğitim yapıları ve mevcut binaların modernizasyon projelerinde sundukları kurulum kolaylığı ve düşük yapısal müdahale avantajları nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla tercih edilmektedir. Buna rağmen Türkiye'de bu sistemlerin güvenilirliğine ilişkin haberleşme sürekliliği, elektromanyetik girişim ve pil kullanımına yönelik çeşitli çekinceler devam etmektedir.

Bu çalışmada, EN 54-25 standardı temel alınarak kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği teknik açıdan incelenmiştir. Standartta tanımlanan sistem mimarisi, haberleşme denetimi, elektromanyetik dayanıklılık, enerji yönetimi ve hata algılama mekanizmaları değerlendirilmiş; kablosuz sistemlerin güvenilirliğinin yalnızca radyo haberleşmesine değil, sürekli sistem denetimi ve hata yönetimi prensiplerine dayandığı ortaya konmuştur.

Çalışma sonucunda, EN 54-25 standardının kablosuz sistemler için performans temelli bir güvenlik yaklaşımı benimsediği ve haberleşme kayıplarının algılanması, cihaz erişilebilirliğinin sürekli izlenmesi, arıza durumlarının raporlanması ve güvenlik fonksiyonlarının korunmasına yönelik kapsamlı gereklilikler içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde kullanılan çift yönlü sayısal haberleşme, gelişmiş frekans yönetimi, sürekli bağlantı denetimi ve enerji izleme mekanizmalarının sistem güvenilirliğini önemli ölçüde artırdığı değerlendirilmiştir.

Türkiye'deki kabul bariyerlerinin ise büyük ölçüde teknik yetersizliklerden değil, geçmiş teknoloji deneyimleri, bilgi eksikliği ve geleneksel mühendislik yaklaşımlarından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle kablosuz yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde teknolojiye yönelik önyargılar yerine EN 54-25 standardına uygunluk, güncel teknik performans kriterleri ve bilimsel verilerin esas alınmasının, sistemlerin daha doğru değerlendirilmesine ve yaygın kullanımına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz yangın algılama sistemleri; EN 54-25; radyo frekansı; haberleşme sürekliliği; sistem güvenilirliği; elektromanyetik dayanıklılık

REVISITING THE RELIABILITY OF WIRELESS FIRE DEDECTION SYSTEMS UNDER EN54-25: BRIDGING THE GAP BETWEEN TECHNICAL REALITY AND REGULATORY PERCEPTION IN TURKEY

ABSTRACT

Wireless fire detection systems have become increasingly preferred in recent years, particularly in historical buildings, healthcare facilities, educational institutions, and renovation projects, due to their ease of installation and minimal structural intervention. However, concerns regarding communication reliability, electromagnetic interference, and battery dependency still limit their widespread acceptance in Türkiye.

This study investigates the reliability of wireless fire detection systems within the framework of the EN

54-25 standard. The system architecture, communication supervision, electromagnetic resilience, energy management, and fault detection mechanisms defined by the standard are examined to demonstrate that the reliability of wireless systems depends not only on radio communication but also on continuous system supervision and effective fault management.
The results indicate that EN 54-25 adopts a performance-based safety approach and defines comprehensive requirements for detecting communication failures, continuously monitoring device availability, reporting fault conditions, and maintaining safety functions. Furthermore, modern wireless fire detection systems incorporate advanced technologies such as bidirectional digital communication, intelligent radio frequency management, continuous link supervision, and battery monitoring, which significantly enhance overall system reliability.
The study also concludes that the acceptance barriers in Türkiye are primarily associated with previous technological experiences, limited awareness of the EN 54-25 standard, and conventional engineering practices rather than actual technical limitations. Therefore, the evaluation of wireless fire detection systems should be based on compliance with EN 54-25, current engineering principles, and objective technical performance criteria instead of outdated perceptions. Such an approach is expected to contribute to the broader adoption of wireless fire detection technologies while maintaining a high level of fire safety.
Keywords: Wireless fire detection systems; EN 54-25; radio frequency; communication continuity; system reliability; electromagnetic immunity

1. GİRİŞ

Yangınlar, can kaybı, ekonomik zarar ve kritik altyapıların işlev kaybı açısından dünya genelinde en önemli güvenlik risklerinden biri olmaya devam etmektedir. Yangının erken aşamada algılanması ve ilgili kişilere zamanında bildirilmesi, can güvenliğinin sağlanması ve yangının büyümeden kontrol altına alınabilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Bu nedenle yangın algılama ve alarm sistemleri modern yapı güvenliğinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Geleneksel yangın algılama sistemleri uzun yıllardır büyük ölçüde kablolu haberleşme altyapıları üzerine kurulmuştur. Kablolu sistemler yüksek yaygınlığa sahip olmaları nedeniyle birçok ülkede standart uygulama haline gelmiştir. Bununla birlikte son yıllarda yapı teknolojilerindeki gelişmeler, kablosuz haberleşme sistemlerinin olgunlaşması ve dijital denetim yöntemlerinin yaygınlaşması sonucunda kablosuz yangın algılama sistemleri de önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle tarihi yapılar, kültürel miras alanları, hastaneler, eğitim yapıları, oteller ve faaliyetlerine kesintisiz devam etmek zorunda olan tesislerde kablolama çalışmalarının oluşturduğu maliyet ve uygulama zorlukları kablosuz sistemlere olan ilgiyi artırmıştır. Buna rağmen birçok ülkede olduğu gibi Türkiye›de de kablosuz yangın algılama sistemleri hakkında çeşitli çekinceler bulunmaktadır. Bu çekinceler çoğunlukla haberleşme güvenilirliği, enerji sürekliliği, elektromanyetik girişim etkileri ve sistem kararlılığı konularında yoğunlaşmaktadır. Kablosuz sistemlere yönelik bu yaklaşımın önemli bir bölümü, geçmiş yıllarda kullanılan basit radyo haberleşme çözümleri ile günümüzde kullanılan gelişmiş güvenlik sistemlerinin aynı kategoride değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Oysa modern kablosuz yangın algılama sistemleri yalnızca kablosuz veri iletiminden ibaret değildir. Bu sistemler sürekli denetim, hata algılama, durum doğrulama, enerji yönetimi ve sistem bütünlüğü denetimi gibi çok sayıda güvenlik mekanizmasını birlikte içermektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde yangın algılama sistemlerinin performans kriterleri EN 54 standart ailesi kapsamında tanımlanmaktadır. Bu standart ailesi içerisinde yer alan EN 54-25 standardı ise kablosuz bağlantılar kullanan yangın algılama sistemlerinin performans gerekliliklerini tanımlamaktadır. EN 54-25'in temel yaklaşımı belirli bir haberleşme teknolojisini zorunlu kılmak değil, sistemin güvenlik fonksiyonlarını hangi koşullar altında yerine getirmesi gerektiğini tanımlamaktır. Bu yönüyle standart, teknoloji odaklı değil performans odaklı bir güvenlik yaklaşımı benimsemektedir. Yangın güvenliği mühendisliği açısından değerlendirildiğinde bir sistemin güvenilirliği yalnızca normal çalışma koşullarındaki performansı ile ölçülmemektedir. Asıl önemli olan, arıza durumlarının ne kadar hızlı algılanabildiği, kullanıcıya ne şekilde bildirildiği ve güvenlik fonksiyonlarının hangi ölçüde sürdürülebildiğidir. Bu nedenle modern yangın algılama sistemlerinde temel hedef arızaların tamamen ortadan kaldırılması değil, oluşabilecek arızaların görünür hale getirilmesi ve sis-

tem güvenliğinin korunmasıdır. Bu çalışma kapsamında EN 54-25 standardı çerçevesinde kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği incelenmiş, standart tarafından tanımlanan temel güvenlik prensipleri değerlendirilmiş ve kablosuz sistemlere yönelik yaygın çekinceler teknik açıdan analiz edilmiştir. Ayrıca Türkiye'de kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik kabul bariyerlerinin teknik ve uygulama boyutları ele alınarak mevcut durum değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğini teknik veriler ışığında incelemek ve özellikle EN 54-25 standardı kapsamında değerlendirildiğinde bu sistemlerin yangın güvenliği uygulamalarındaki yerini ortaya koymaktır. Böylece kablosuz sistemlerin değerlendirilmesinde algısal yaklaşımlar yerine mühendislik temelli ve standart odaklı bir bakış açısının geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. EN 54 STANDARD AİLESİ İÇERİSİNDE EN 54-25'İN KONUMU

Yangın algılama ve alarm sistemlerinin performans gereklilikleri Avrupa'da EN 54 standart ailesi kapsamında tanımlanmaktadır. EN 54 serisi, yangın algılama sistemlerinde kullanılan cihazların, kontrol ekipmanlarının, alarm elemanlarının ve haberleşme bileşenlerinin sahip olması gereken performans kriterlerini belirleyen kapsamlı bir standartlar bütünüdür. Bu standart ailesinin temel amacı, üretici bağımsız olarak belirli bir güvenlik seviyesinin sağlanması ve yangın algılama sistemlerinin Avrupa genelinde ortak performans kriterleri çerçevesinde değerlendirilebilmesidir. Standartların yaklaşımı belirli bir teknoloji kullanımını zorunlu kılmak yerine sistemlerin sağlaması gereken performans seviyelerini tanımlamaktır. EN 54 ailesi içerisinde yer alan başlıca standartlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. EN 54 standart ailesinin temel bileşenleri

Standart	Kapsam
EN 54-2	Yangın alarm kontrol panelleri
EN 54-3	Sesli alarm cihazları
EN 54-4	Güç kaynakları
EN 54-5	Isı dedektörleri
EN 54-7	Duman dedektörleri
EN 54-10	Alev dedektörleri
EN 54-11	Manuel alarm butonları
EN 54-13	Sistem uyumluluğu ve bütünlük değerlendirmesi
EN 54-18	Giriş/çıkış cihazları
EN 54-23	Görsel alarm cihazları
EN 54-25	Kablosuz bileşenler kullanan sistemler

Tabloda görüldüğü gibi EN 54-25 diğer ürün standartlarından farklı bir yaklaşım benimsemektedir. Duman dedektörü veya ısı dedektörü gibi tek bir cihaz tipini tanımlamak yerine, kablosuz iletişim kullanan yangın algılama sistemlerinin sistem düzeyindeki davranışlarını ele almaktadır. Bu durum EN 54-25'i yalnızca bir ürün standardı olmaktan çıkararak bir sistem performans standardı haline getirmektedir.

2.1 En 54-25'in Ortaya Çıkış Gerekçesi

Kablosuz haberleşme teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte yangın algılama sistemlerinde de kablosuz çözümler kullanılmaya başlanmıştır. Ancak yangın güvenliği uygulamaları, geleneksel veri haberleşme uygulamalarından çok daha yüksek güvenilirlik gerektirmektedir. Bir yangın algılama sisteminde meydana gelebilecek haberleşme problemi yalnızca veri kaybına değil, can güvenliği risklerine de yol açabilmektedir. Bu nedenle kablosuz sistemlerin performansının özel kriterlerle değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. EN 54-25 bu ihtiyaca cevap verebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Standardın temel hedefleri şunlardır: Haberleşme sürekliliğinin sağlanması, Sistem bütünlüğünün korunması, Arıza durumlarının algılanabilmesi, Enerji sürekliliğinin izlenebilmesi, Kablosuz bağlantı performansının denetlenebilmesi, Yangın güvenliği fonksiyonlarının korunması. Bu yaklaşım kablosuz sistemleri yalnızca radyo haberleşmesi kullanan cihazlar olmaktan çıkarıp sürekli denetlenen güvenlik sistemleri haline getirmektedir.

2.2 En 54-25'in Performans Temelli Yapısı

EN 54-25'in en önemli özelliklerinden biri performans temelli bir yaklaşım benimsemesidir. Standart belirli bir frekans bandını zorunlu kılmaz. Belirli bir modülasyon yöntemini zorunlu kılmaz. Belirli bir haberleşme protokolünü zorunlu kılmaz. Bunun yerine sistemin güvenlik fonksiyonlarını hangi koşullar altında yerine getirmesi gerektiğini tanımlar. Bu yaklaşımın önemli avantajları bulunmaktadır. Öncelikle teknoloji geliştikçe standart geçerliliğini koruyabilmektedir. Üreticiler farklı haberleşme teknolojileri kullanabilmekte ancak aynı güvenlik performansını sağlamak zorunda kalmaktadır. Bu nedenle EN 54-25'in temel değerlendirme kriteri kullanılan teknoloji değil elde edilen güvenlik performansıdır.

2.3 Sistem Yaklaşımı

Geleneksel ürün standartlarında değerlendirme genellikle tek bir cihaz üzerinden yapılmaktadır. EN 54-25 ise sistemi bir bütün olarak ele almaktadır. Bu kapsamda; dedektörler, alarm cihazları, giriş çıkış modülleri, haberleşme aktarıcıları, kontrol ekipmanları birlikte değerlendirilmektedir. Çünkü yangın güvenliği açısından kritik olan unsur tek bir cihazın performansı değil, tüm sistemin alarm durumunda doğru şekilde çalışabilmesidir. Bu nedenle EN 54-25 sistem mühendisliği yaklaşımını esas almaktadır.

2.4 Arıza Yönetimi Felsefesi

Modern güvenlik mühendisliğinde temel prensip arızaların tamamen ortadan kaldırılması değildir. Gerçekçi yaklaşım, arızaların meydana gelebileceğini kabul etmek ve bu arızaların güvenlik fonksiyonlarını tehlikeye atmadan yönetilebilmesini sağlamaktır. EN 54-25 de aynı yaklaşımı benimsemektedir. Standart kapsamında kritik olan konu haberleşmenin hiçbir zaman kesilmemesi değildir. Asıl önemli olan, meydana gelebilecek haberleşme problemlerinin sistem tarafından algılanabilmesi ve kullanıcıya bildirilebilmesidir. Bu yaklaşım sayesinde "sessiz arıza" olarak tanımlanan ve güvenlik açısından en tehlikeli durumlar arasında kabul edilen görünmez hata senaryolarının önüne geçilmektedir. Dolayısıyla EN 54-25'in temel güvenlik felsefesi, hata oluşumunu reddetmek yerine hataların görünür hale getirilmesini ve güvenli şekilde yönetilmesini sağlamaktır.

2.5 En 54-25 Ve Kablolu Sistemlerin Karşılaştırılması

Kablosuz sistemlere yönelik değerlendirmelerde sıklıkla kablolu sistemler referans alınmaktadır. Ancak mühendislik açısından bakıldığında kablolu sistemler de çeşitli riskler içermektedir. Bunlar arasında: kablo kopmaları, kısa devreler, izolasyon bozulmaları, bağlantı hataları, mekanik hasarlar yer almaktadır. Dolayısıyla güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken yalnızca haberleşme ortamına odaklanmak yeterli değildir. Asıl değerlendirme kriteri sistemin güvenlik fonksiyonlarını ne ölçüde sürdürebildiği olmalıdır. EN 54-25'in

yaklaşımı da tam olarak bu noktada şekillenmektedir. Standart, kablosuz sistemlerin kablolu sistemlerle aynı güvenlik hedeflerini karşılayabilmesini amaçlamakta ve bunu sistem performansı üzerinden değerlendirmektedir.

3. EN 54-25'İN PERFORMANS TEMELLİ GÜVENLİK YAKLAŞIMI

Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik en yaygın çekinceler haberleşme sürekliliği, enerji bağımlılığı ve elektromanyetik etkiler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak bu değerlendirmelerin önemli bir bölümü, modern güvenlik sistemlerinin çalışma prensiplerinden bağımsız olarak yalnızca haberleşme ortamına odaklanmaktadır. Oysa yangın güvenliği mühendisliği açısından değerlendirildiğinde sistem güvenilirliği yalnızca bilgi iletiminin gerçekleşmesi ile açıklanamaz. Güvenilirlik; sistemin hata durumlarını algılayabilmesi, bu hataları raporlayabilmesi ve güvenlik fonksiyonlarını sürdürebilmesi ile ilişkilidir. EN 54-25 standardı da bu nedenle teknoloji temelli değil, performans temelli bir yaklaşım benimsemektedir. Standart kapsamında temel amaç, kablosuz sistemlerin yangın güvenliği fonksiyonlarını güvenilir biçimde yerine getirebilmesini sağlamaktır.

3.1 Güvenlilik Kavramının Yeniden Tanımlanması

Yangın güvenliği uygulamalarında güvenilirlik kavramı çoğu zaman yanlış yorumlanmaktadır. Pratikte sıklıkla; "Hiç arıza vermeyen sistem güvenilir sistemdir" şeklinde bir yaklaşım görülmektedir. Ancak modern güvenilirlik mühendisliği bu yaklaşımı kabul etmemektedir. Her teknik sistem belirli bir arıza olasılığına sahiptir. Kablolu sistemlerde: kablo kopmaları, kısa devreler, bağlantı gevşemeleri, mekanik hasarlar, oluşabilmektedir. Kablosuz sistemlerde ise: haberleşme kalitesinde düşüş, enerji kaynağı problemleri, çevresel etkiler, ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle modern güvenlik mühendisliğinde temel hedef arızaların tamamen ortadan kaldırılması değil, arızaların görünür hale getirilmesi ve güvenli şekilde yönetilebilmesidir. EN 54-25'in temel yaklaşımı da bu prensip üzerine kurulmuştur.

3.2 Sürekli Denetim Yaklaşımı

Kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğini sağlayan en önemli mekanizmalardan biri sürekli denetim yaklaşımıdır. Sürekli denetim yaklaşımında sistem bileşenleri yalnızca alarm anında haberleşmez. Normal çalışma sırasında da düzenli aralıklarla sistem durum bilgileri paylaşılır. Bu yaklaşım sayesinde: cihaz erişilebilirliği, haberleşme kalitesi, enerji durumu, sistem bütünlüğü sürekli olarak kontrol altında tutulabilmektedir. Sürekli denetim mekanizması sayesinde sistem herhangi bir cihazla olan bağlantısını kaybettiğinde bu durum belirli bir süre içerisinde algılanmakta ve kullanıcıya bildirilmektedir. Bu yaklaşım yangın güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Çünkü sistemin çalışmadığının bilinmesi, çalışmadığının fark edilmemesinden çok daha güvenlidir.

3.3 Çift Yönlü Haberleşme Prensibi

Modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde kullanılan önemli prensiplerden biri çift yönlü haberleşmedir. Basit haberleşme sistemlerinde bilgi yalnızca gönderilir. Gönderilen bilginin ulaşıp ulaşmadığı bilinmeyebilir. Yangın güvenliği uygulamalarında bu yaklaşım yeterli kabul edilmemektedir. Bu nedenle modern sistemlerde gönderilen mesajların doğrulanması esas alınmaktadır. Çift yönlü haberleşme sayesinde: mesaj gönderimi, mesajın alınması, mesajın doğrulanması süreçleri kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yapı haberleşme güvenilirliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

3.4 Sistem Bütünlüğü Kavramı

EN 54-25 yalnızca cihaz performansını değerlendirmemektedir. Standart aynı zamanda sistem bütünlüğünü de esas almaktadır. Sistem bütünlüğü; algılama elemanları, alarm cihazları, kontrol ekipmanları, haber-

leşme altyapısı arasındaki ilişkinin güvenli şekilde sürdürülebilmesini ifade etmektedir. Bir cihazın tek başına doğru çalışması yeterli değildir. Önemli olan tüm sistemin birlikte çalışabilmesidir. Bu nedenle sistem seviyesinde denetim mekanizmaları kullanılmaktadır.

3.5 Hata Algılama Ve Hata Bildirimi

Yangın güvenliği sistemlerinde en tehlikeli durumlar genellikle görünmeyen arızalardır. Kullanıcı tarafından fark edilmeyen bir arıza, sistemin koruma fonksiyonlarını sessiz şekilde kaybetmesine neden olabilir. Bu nedenle EN 54-25 hata algılama ve hata bildirimi süreçlerine özel önem vermektedir. Sistem tarafından izlenen başlıca durumlar şunlardır: cihaz erişilebilirliği, haberleşme durumu, enerji seviyesi, bağlantı performansı, cihaz arızaları. Bu bilgiler sayesinde sistem operatörü meydana gelen problemlere erken aşamada müdahale edebilmektedir.

3.6 Performans Temelli Değerlendirme

Yangın güvenliği uygulamalarında temel soru: “Sistem kablosuz mu?” değil, “Sistem güvenlik fonksiyonlarını yerine getirebiliyor mu?” olmalıdır. EN 54-25 tam olarak bu yaklaşımı benimsemektedir. Standart belirli bir teknolojiyi üstün veya yetersiz olarak tanımlamaz. Bunun yerine sistemin; alarm iletebilmesini, hata durumlarını algılayabilmesini, güvenlik fonksiyonlarını sürdürebilmesini, kullanıcıyı bilgilendirebilmesini esas alır. Bu yaklaşım sayesinde teknolojik gelişmeler standardın geçerliliğini etkilemeden uygulanabilmektedir.

3.7 Türkiye’deki Algı İle Teknik Gerçeklik Arasındaki Fark

Türkiye’de kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik çekincelerin önemli bölümü haberleşme kesintisi ihtimali üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak teknik açıdan değerlendirildiğinde kritik olan konu haberleşme probleminin oluşması değil, oluşan problemin sistem tarafından algılanabilmesidir. Modern kablosuz sistemlerde kullanılan sürekli denetim mekanizmaları sayesinde bağlantı problemleri görünür hale getirilmektedir. Bu nedenle değerlendirme yapılırken haberleşme ortamından çok sistemin hata yönetim kapasitesine odaklanılması gerekmektedir. EN 54-25’in performans temelli yaklaşımı da bu anlayış üzerine kurulmuştur. Dolayısıyla standardın temel felsefesi, kablosuz haberleşmeyi güvenilir hale getirmekten ziyade, güvenlik fonksiyonlarının sürekliliğini garanti altına almaktır.

4. KABLOSUZ YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNDE SİSTEM MİMARİSİ

Kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği değerlendirilirken sıklıkla yalnızca haberleşme ortamına odaklanılmaktadır. Ancak yangın güvenliği mühendisliği açısından bakıldığında bir sistemin güvenilirliği yalnızca haberleşme bağlantısının varlığı ile açıklanamaz. Güvenilir bir yangın algılama sistemi; algılama, haberleşme, denetim, enerji yönetimi ve alarm fonksiyonlarının tamamının koordineli biçimde çalışabildiği bütünleşik bir yapı olarak değerlendirilmelidir. EN 54-25 standardının yaklaşımı da bu doğrultudadır. Standart, tek bir cihazın performansından çok sistemin genel davranışını ve güvenlik fonksiyonlarının sürekliliğini esas almaktadır. Bu nedenle kablosuz yangın algılama sistemlerinde mimari yapı, güvenilirlik değerlendirmesinin temel unsurlarından biridir.

4.1 Sistemin Temel Bileşenleri

Kablosuz yangın algılama sistemleri genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır: Yangın algılama dedektörleri, Manuel alarm butonları, Sesli ve görsel alarm cihazları, Giriş ve çıkış modülleri, Haberleşme aktarıcıları, Kontrol ve gösterge ekipmanları, Güç kaynakları. Bu bileşenlerin tamamı sistem güvenliğinin bir parçasıdır. Yangın güvenliği açısından değerlendirildiğinde yalnızca dedektörlerin çalışması yeterli değil-

dir. Alarm bilgisinin kontrol ekipmanına iletilmesi, alarm cihazlarının aktive edilmesi ve sistem durumunun kullanıcıya aktarılması da aynı derecede önemlidir. Bu nedenle sistem mimarisi tüm bileşenlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

4.2 Merkezi Denetim Prensibi

Modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde kontrol ekipmanı yalnızca alarm bilgilerini toplamakla görevli değildir. Kontrol ekipmanı aynı zamanda: cihaz durumlarını izler, haberleşme performansını değerlendirir, enerji seviyelerini takip eder, arıza bilgilerini kaydeder, kullanıcıya sistem durumu hakkında bilgi verir. Bu yaklaşım sayesinde sistem içerisindeki her bileşen sürekli olarak denetlenebilmektedir. Merkezi denetim yaklaşımı özellikle güvenilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Çünkü sistem performansı yalnızca alarm anında değil, normal çalışma süresince de doğrulanabilmektedir.

4.3 Haberleşme Yolları Ve Sistem Sürekliliği

Kablosuz sistemlerde haberleşme sürekliliği kritik bir güvenlik parametresidir. Ancak güvenilirlik açısından asıl önemli olan konu tek bir haberleşme bağlantısının varlığı değil, sistemin haberleşme problemlerini algılayabilmesidir. Bu nedenle modern sistemlerde; haberleşme erişilebilirliği, bağlantı kalitesi, cihaz görünürlüğü, iletişim sürekliliği sürekli olarak izlenmektedir. Sistem herhangi bir cihaz ile iletişim kuramadığında bu durum arıza olarak değerlendirilmekte ve kullanıcıya bildirilmektedir. Bu yaklaşım görünmeyen arızaların önlenmesini sağlamaktadır.

4.4 Yedeklilik Kavramı

Yangın güvenliği mühendisliğinde yedeklilik önemli bir güvenilirlik artırma yöntemidir. Yedeklilik, bir bileşenin görevini yerine getirememesi durumunda alternatif bir yolun veya fonksiyonun devreye girmesini ifade etmektedir. Kablosuz yangın algılama sistemlerinde yedeklilik farklı seviyelerde uygulanabilmektedir. Bunlar arasında: alternatif haberleşme yolları, ek haberleşme aktarıcıları, çoklu haberleşme güzergâhları, sistem seviyesinde hata yönetimi bulunmaktadır. Yedeklilik yaklaşımı sayesinde tek bir bağlantı problemi tüm sistem performansını etkilemeden yönetilebilmektedir.

4.5 Ağ Topolojileri

Kablosuz yangın algılama sistemlerinde kullanılan ağ topolojileri güvenilirlik üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Yıldız Topolojisi: Yıldız topolojisinde her cihaz doğrudan merkezi haberleşme birimi ile iletişim kurmaktadır. Bu yapı basit kurulum, kolay hata analizi, hızlı devreye alma avantajları sunmaktadır. Ancak tüm cihazlar merkezi birime bağımlıdır. Çok Noktalı Topolojiler büyük yapılarda haberleşme aktarıcıları kullanılabilmektedir. Bu yaklaşım kapsama alanını artırmaktadır. Ayrıca karmaşık mimari yapılarda haberleşme sürekliliğinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Karma Topolojiler: Modern sistemlerde sıklıkla karma topolojiler tercih edilmektedir. Bu yapılarda bazı cihazlar doğrudan merkezi ekipmana bağlanırken bazıları ara haberleşme düğümleri üzerinden iletişim kurmaktadır. Bu yöntem özellikle büyük ve çok katlı yapılarda önemli avantajlar sağlamaktadır.

4.6 Sistem Düzeyinde Hata Yönetimi

Modern yangın güvenliği sistemlerinde hata oluşması olağan bir durum olarak kabul edilmektedir. Önemli olan hata oluşup oluşmaması değil, hatanın ne kadar hızlı algılanabildiğidir. EN 54-25 kapsamında değerlendirilen sistemlerde hata yönetimi aşağıdaki prensiplere dayanmaktadır: Hatanın algılanması, Hatanın sınıflandırılması, Kullanıcının bilgilendirilmesi, Güvenlik fonksiyonlarının korunması. Bu yaklaşım sayesinde sistem güvenilirliği yalnızca cihaz performansına değil, hata yönetim kapasitesine de bağlı hale gelmektedir.

4.7 Güvenilirlik Mühendisliği Açısından Değerlendirme

Güvenilirlik mühendisliği perspektifinden bakıldığında modern kablosuz yangın algılama sistemleri yalnızca dedektörlerden oluşan yapılar değildir. Bu sistemler; sürekli denetim, durum doğrulama, haberleşme izleme, enerji yönetimi, hata bildirimi fonksiyonlarını birlikte yürüten bütünleşik güvenlik ağlarıdır. Bu nedenle kablosuz yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde yalnızca haberleşme teknolojisine odaklanmak yeterli değildir. Asıl değerlendirme kriteri sistemin güvenlik fonksiyonlarını hangi koşullarda sürdürebildiği ve meydana gelebilecek arızaları ne ölçüde yönetebildiği olmalıdır. EN 54-25'in sistem yaklaşımı da tam olarak bu anlayış üzerine kurulmuştur.

5. HABERLEŞME SÜREKLİLİĞİ VE SİSTEM DENETİMİ

Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik en yaygın çekince, haberleşme sürekliliğinin kablolu sistemlere kıyasla daha düşük olduğu yönündeki görüştür. Özellikle yangın güvenliği uygulamalarında radyo frekanslı haberleşmenin kesintiye uğrayabileceği, dedektörlerin merkez tarafından görülemeyebileceği veya alarm bilgisinin iletilemeyebileceği yönünde çeşitli endişeler dile getirilmektedir. Ancak modern kablosuz yangın algılama sistemleri değerlendirildiğinde güvenilirlik kavramının yalnızca haberleşmenin varlığı ile açıklanamayacağı görülmektedir. Asıl önemli olan, haberleşme problemlerinin sistem tarafından algılanabilmesi, raporlanabilmesi ve güvenlik fonksiyonlarının korunabilmesidir. EN 54-25 standardı da tam olarak bu yaklaşımı esas almaktadır.

5.1 Haberleşme Sürekliliği Kavramı

Yangın güvenliği uygulamalarında mutlak ve kesintisiz haberleşme teknik olarak garanti edilebilen bir durum değildir. Bu gerçek yalnızca kablosuz sistemler için değil, kablolu sistemler için de geçerlidir. Kablolu sistemlerde: kablo kopmaları, kısa devreler, mekanik hasarlar, bağlantı gevşemeleri, elektromanyetik etkiler haberleşme kaybına neden olabilmektedir. Kablosuz sistemlerde ise: çevresel zayıflamalar, yapısal engeller, elektromanyetik girişimler, cihaz arızaları haberleşme performansını etkileyebilmektedir. Bu nedenle modern güvenlik mühendisliği yaklaşımı haberleşmenin hiçbir zaman kesilmeyeceği varsayımına değil, haberleşme problemlerinin hızlı şekilde algılanmasına dayanmaktadır.

5.2 Sürekli Denetim Mekanizması

EN 54-25 kapsamında çalışan sistemlerde güvenilirliğin temel unsurlarından biri sürekli denetim mekanizmasıdır. Sürekli denetim yaklaşımında cihazlar yalnızca alarm durumunda haberleşmez. Normal çalışma sırasında da düzenli aralıklarla sistem durum bilgileri aktarılmaktadır. Bu bilgiler arasında: cihaz kimliği, çalışma durumu, enerji seviyesi, haberleşme kalitesi, sistem erişilebilirliği yer almaktadır. Bu yöntem sayesinde sistem tüm bileşenlerin erişilebilirliğini sürekli olarak kontrol altında tutabilmektedir. Bir cihazın belirlenen denetim süresi içerisinde yanıt vermemesi durumunda sistem bunu arıza olarak değerlendirmektedir. Dolayısıyla cihazın kaybolması veya erişilemez hale gelmesi durumunda problem görünmez şekilde kalmamaktadır.

5.3 Sessiz Arıza Kavramı

Yangın güvenliği açısından en tehlikeli senaryolardan biri sessiz arıza olarak tanımlanmaktadır. Sessiz arıza; bir bileşenin görevini yerine getirememesine rağmen sistem tarafından fark edilmemesi durumudur. Örneğin bir dedektörün merkez ile haberleşememesi ve bu durumun sistem tarafından algılanamaması ciddi bir güvenlik riski oluşturmaktadır. Modern kablosuz sistemlerde kullanılan sürekli denetim mekanizmaları sessiz arıza ihtimalini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle güvenilirlik değerlendirmelerinde yalnızca haberleşme ortamı değil, arıza görünürlüğü de dikkate alınmalıdır.

5.4 Haberleşme Kalitesinin İzlenmesi

Modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde yalnızca bağlantının varlığı değil, bağlantının kalitesi de izlenmektedir. Birçok sistem; sinyal seviyesi, haberleşme kararlılığı, paket kayıp oranı, bağlantı güvenilirliği gibi parametreleri sürekli olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşım sayesinde henüz arıza oluşmadan önce performans düşüşleri tespit edilebilmektedir. Erken tespit mekanizması bakım planlaması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

5.5 Radyo Frekansı Yayılımı Ve Yapı Etkileri

Kablosuz sistem performansı değerlendirilirken radyo frekansı yayılımı önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Radyo sinyalleri yapı içerisinde ilerlerken çeşitli engellerle karşılaşmaktadır. Özellikle: betonarme perdeler, çelik konstrüksiyonlar, metal yüzeyler, asansör boşlukları, teknik hacimler sinyal seviyesini etkileyebilmektedir. Bu nedenle sistem tasarım aşamasında kapsama analizi yapılması büyük önem taşımaktadır. Modern tasarım metodolojilerinde cihaz yerleşimleri yalnızca yangın algılama kriterlerine göre değil, haberleşme performansına göre de değerlendirilmektedir.

5.6 Haberleşme Aktarıcıları Ve Kapsama Genişletme

Büyük yapılarda veya karmaşık mimariye sahip tesislerde haberleşme aktarıcıları kullanılabilmektedir. Bu ekipmanlar sayesinde: kapsama alanı genişletilebilmekte, sinyal sürekliliği artırılabilmekte, yapısal engeller aşılabilmekte, sistem kararlılığı geliştirilebilmektedir. Bu yaklaşım özellikle tarihi yapılar, sağlık tesisleri ve büyük kampüslerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.7 Frekans Yönetimi Ve Girişim Dayanıklılığı

EN 54-25 belirli bir frekans bandını veya belirli bir haberleşme tekniğini zorunlu kılmamaktadır. Bununla birlikte günümüzde kullanılan gelişmiş kablosuz yangın algılama sistemlerinde çeşitli frekans yönetim teknikleri uygulanmaktadır. Bunlar arasında: çok kanallı haberleşme, otomatik kanal seçimi, adaptif frekans yönetimi, girişim algılama mekanizmaları yer almaktadır. Bu teknikler sayesinde yoğun elektromanyetik ortamlarda dahi haberleşme sürekliliği korunabilmektedir. Burada özellikle vurgulanması gereken nokta şudur: EN 54-25 herhangi bir sistemin belirli frekanslara atlamasını, belirli milisaniye sürelerinde haberleşmesini veya belirli bir radyo protokolü kullanmasını zorunlu kılmaz. Standart performans sonucunu tanımlar. Dolayısıyla üreticiler farklı teknolojiler kullanabilmekte ancak aynı güvenlik seviyesini sağlamak zorunda kalmaktadır.

5.8 Gerçek Zamanlı Durum Farkındalığı

Modern kablosuz sistemlerin önemli avantajlarından biri gerçek zamanlı durum farkındalığı sağlamalarıdır. Kontrol ekipmanları; dedektör durumlarını, alarm geçmişini, enerji seviyelerini, haberleşme performansını, arıza kayıtlarını sürekli olarak izleyebilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde bakım ekipleri sorunlara erken müdahale edebilmektedir. Sonuç olarak kablosuz yangın algılama sistemlerinde güvenilirlik yalnızca radyo sinyalinin varlığı ile değil, sistemin kendi durumunu ne ölçüde izleyebildiği ile ilişkilidir. EN 54-25'in temel yaklaşımı da haberleşme problemlerinin tamamen ortadan kaldırılması değil, bu problemlerin algılanması, raporlanması ve güvenlik fonksiyonlarının korunmasıdır. Bu nedenle modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken haberleşme ortamından çok sistem denetim kabiliyeti esas alınmalıdır.

6. ELEKTROMANYETİK DAYANIKLILIK VE RADYO FREKANSI GÜVENİLİRLİĞİ

Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik teknik tartışmaların önemli bir bölümü elektromanyetik girişim ve radyo frekansı güvenilirliği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle yangın güvenliği uygulamalarında

kullanılan sistemlerin, yoğun elektromanyetik ortamlarda güvenilir şekilde çalışıp çalışamayacağı sıklıkla sorgulanmaktadır. Bu yaklaşımın temelinde kablosuz sistemlerin çevresel etkilerden daha fazla etkilendiği düşüncesi yer almaktadır. Ancak modern kablosuz yangın algılama sistemleri incelendiğinde elektromanyetik dayanıklılığın sistem tasarımının temel unsurlarından biri olduğu görülmektedir. EN 54-25 standardı da kablosuz sistemlerin performans değerlendirmesinde elektromanyetik çevrenin etkilerini dikkate almakta ve sistem güvenliğinin bu koşullar altında da korunmasını hedeflemektedir.

6.1 Elektromanyetik Ortam Kavramı

Her yapı içerisinde doğal veya yapay kaynaklı elektromanyetik alanlar bulunmaktadır. Bunlar arasında: cep telefonu sistemleri, kablosuz veri ağları, telsiz sistemleri, televizyon yayınları, endüstriyel otomasyon ekipmanları, motor sürücüleri, güç elektroniği cihazları yer almaktadır. Dolayısıyla yangın algılama sistemleri tamamen elektromanyetik etkilerden izole edilmiş ortamlarda çalışmamaktadır. Hem kablolu hem de kablosuz sistemler bu çevresel koşullardan etkilenebilmektedir. Bu nedenle güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken elektromanyetik çevre dikkate alınmalıdır.

6.2 Elektromanyetik Uyumluluk

Elektromanyetik uyumluluk, bir cihazın bulunduğu elektromanyetik ortam içerisinde görevini yerine getirebilmesi ve aynı zamanda diğer cihazlara kabul edilemez düzeyde girişim oluşturmaması olarak tanımlanmaktadır. Yangın güvenliği uygulamalarında elektromanyetik uyumluluk büyük önem taşımaktadır. Çünkü yanlış alarm üretimi kadar gerçek alarmın iletilememesi de ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle modern yangın algılama sistemleri elektromanyetik dayanıklılık testlerinden geçirilmektedir. Bu testler; iletilen girişimler, yayılan girişimler, elektrostatik boşalmalar, ani gerilim darbeleri, elektromanyetik alan etkileri gibi çok sayıda senaryoyu kapsamaktadır.

6.3 Radyo Frekansı Haberleşmesinde Girişim Kaynakları

Kablosuz sistemlerde girişim oluşturabilecek çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Başlıca kaynaklar şunlardır: Ortak Frekans Kullanımı Aynı frekans bandında çalışan farklı sistemler belirli koşullarda haberleşme performansını etkileyebilmektedir. Endüstriyel Elektromanyetik Gürültü Üretim tesislerinde kullanılan büyük motorlar, sürücüler ve güç elektroniği ekipmanları elektromanyetik gürültü oluşturabilmektedir. Yapısal Zayıflamalar, kalın betonarme elemanlar, metal yüzeyler ve çelik konstrüksiyonlar radyo sinyalinin yayılımını etkileyebilmektedir. Hareketli Engeller, araçlar, depolama sistemleri veya değişken kullanım alanları kapsama koşullarını değiştirebilmektedir. Bu nedenle sistem tasarımında yalnızca teorik kapsama hesapları değil saha ölçümleri de önem taşımaktadır.

6.4 Modern Kablosuz Yangın Algılama Sistemlerinde Kullanılan Yöntemler

Günümüzde EN 54-25 uyumlu ticari sistemlerde elektromanyetik dayanıklılığı artırmak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında: çok kanallı haberleşme, otomatik kanal seçimi, girişim algılama, sinyal kalite analizi, dinamik haberleşme optimizasyonu, sürekli bağlantı denetimi yer almaktadır. Bazı gelişmiş sistemlerde cihazlar haberleşme kalitesini sürekli analiz ederek uygun haberleşme parametrelerini otomatik olarak belirleyebilmektedir. Bu yaklaşım özellikle yoğun elektromanyetik ortamlarda sistem kararlılığını artırmaktadır.

6.5 Radyo Frekansı Kapsama Analizi

Kablosuz yangın algılama sistemlerinin başarısı büyük ölçüde doğru kapsama planlamasına bağlıdır. Bu nedenle tasarım sürecinde aşağıdaki adımlar uygulanmalıdır: Ön İnceleme Yapının mimari özellikleri değer-

lendirilmelidir. Risk Analizi kritik bölgeler belirlenmelidir. Kapsama Ölçümü sinyal seviyeleri saha ortamında doğrulanmalıdır. Haberleşme Doğrulaması cihazlar arasında güvenilir iletişim kurulabildiği gösterilmelidir. Nihai Sistem Testi Tüm alarm ve arıza senaryoları doğrulanmalıdır. Bu yaklaşım sayesinde tasarım aşamasında ortaya çıkabilecek problemlerin önemli bölümü işletmeye alma öncesinde tespit edilebilmektedir.

6.6 Haberleşme Kalitesinin Sürekli İzlenmesi

Modern kablosuz yangın algılama sistemlerinin önemli avantajlarından biri haberleşme performansının işletme süresince izlenebilmesidir. Birçok gelişmiş sistem; sinyal seviyesini, bağlantı kararlılığını, haberleşme sürekliliğini, cihaz erişilebilirliğini sürekli olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşım sayesinde çevresel koşullarda meydana gelen değişimler erken aşamada tespit edilebilmektedir. Dolayısıyla bakım faaliyetleri yalnızca periyodik kontrollerden ibaret kalmamakta, aynı zamanda durum temelli bakım yaklaşımı da uygulanabilmektedir.

6.7 Kablolu Ve Kablosuz Sistemlerin Elektromanyetik Açıdan Karşılaştırılması

Kablolu sistemlerin elektromanyetik etkilerden tamamen bağımsız olduğu yönündeki yaklaşım teknik açıdan doğru değildir. Kablolu altyapılarda da: endüklenen gerilimler, elektromanyetik kuplaj, topraklama problemleri, yüksek enerji darbeleri sistem performansını etkileyebilmektedir. Dolayısıyla elektromanyetik dayanıklılık yalnızca kablosuz sistemlerin problemi değildir. Asıl değerlendirme kriteri sistemin bu etkileri hangi ölçüde yönetebildiğidir. Modern EN 54-25 uyumlu sistemler elektromanyetik etkileri sürekli izleme, hata algılama ve haberleşme denetimi mekanizmaları ile yönetmektedir.

6.8 Değerlendirme

Yangın güvenliği açısından elektromanyetik dayanıklılık, haberleşme teknolojisinden bağımsız olarak tüm sistemler için kritik bir parametredir. EN 54-25'in yaklaşımı elektromanyetik etkilerin tamamen ortadan kaldırılması değil, bu etkilerin sistem güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde yönetilebilmesidir. Modern kablosuz yangın algılama sistemleri; gelişmiş haberleşme algoritmaları, sürekli bağlantı denetimi ve kapsamlı sistem gözetimi sayesinde elektromanyetik açıdan zorlu ortamlarda dahi yüksek güvenilirlik sağlayabilmektedir. Bu nedenle kablosuz sistemlerin değerlendirilmesinde yalnızca radyo frekansı kullanımına odaklanmak yerine sistemin hata yönetim kapasitesi ve denetlenebilirliği esas alınmalıdır.

7. ENERJİ YÖNETİMİ, PİL TEKNOLOJİLERİ VE İŞLETME GÜVENİLİRLİĞİ

Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik en yaygın eleştirilerden biri enerji kaynağı olarak pil kullanımına ilişkindir. Özellikle proje onay mercileri ve uygulayıcılar tarafından sıklıkla dile getirilen görüşlerden biri, kablosuz sistemlerin enerji sürekliliğinin kablolu sistemlere göre daha düşük olduğu yönündedir. Bu değerlendirme ilk bakışta mantıklı görünmekle birlikte, modern yangın güvenliği mühendisliği açısından incelendiğinde konunun yalnızca enerji kaynağının türü ile açıklanamayacağı görülmektedir. Yangın algılama sistemlerinde güvenilirlik, enerji kaynağının kablo veya pil olması ile değil, enerji durumunun ne ölçüde izlenebildiği ve yönetilebildiği ile ilişkilidir. Bu nedenle EN 54-25 kapsamında değerlendirilen sistemlerde enerji yönetimi, sistem güvenilirliğinin temel bileşenlerinden biri olarak ele alınmaktadır.

7.1 Enerji Sürekliliği Kavramı

Yangın algılama sistemlerinin temel görevi, normal işletme koşullarında olduğu kadar arıza ve acil durum senaryolarında da çalışabilir durumda kalmaktır. Bu nedenle enerji sürekliliği yangın güvenliği sistemlerinin kritik tasarım parametrelerinden biridir. Kablolu sistemlerde enerji genellikle merkezi güç kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu yaklaşımın avantajları bulunmakla birlikte bazı riskleri de vardır. Bunlar arasında: enerji hattı arızaları, güç kaynağı arızaları, kablo hasarları, bağlantı problemleri sayılabilmektedir. Kablosuz sis-

temlerde ise enerji kaynağı cihaz seviyesinde bulunmaktadır. Bu yaklaşım farklı bir risk profili oluşturmakta ancak aynı zamanda bazı avantajlar da sağlamaktadır. Özellikle tek bir merkezi enerji noktasına bağımlılığın azalması sistem dayanıklılığı açısından olumlu sonuçlar doğurabilmektedir.

7.2 Modern Pil Teknolojileri

Kablosuz yangın algılama sistemlerinde kullanılan enerji kaynakları geçmiş yıllarda kullanılan standart tüketici pillerinden oldukça farklıdır. Günümüzde kullanılan profesyonel sistemlerde yüksek enerji yoğunluğuna sahip lityum tabanlı pil teknolojileri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu piller: düşük kendi kendine deşarj oranı, uzun depolama ömrü, geniş çalışma sıcaklığı aralığı, yüksek kararlılık gibi özellikler sunmaktadır. Bu sayede sistem bileşenleri yıllar boyunca güvenilir şekilde çalışabilmektedir. Bazı EN 54 uyumlu ticari sistemlerde dedektörlerin ve saha cihazlarının işletme koşullarına bağlı olarak 5 ila 10 yıl arasında pil ömrü sunabildiği görülmektedir. Ancak burada önemli olan konu pil ömrü değil, pil durumunun sürekli izlenmesidir.

7.3 Enerji Durumunun Sürekli İzlenmesi

Modern kablosuz sistemlerin en önemli özelliklerinden biri enerji durumunun sürekli olarak izlenebilmesidir. Sistem bileşenleri enerji seviyelerini düzenli olarak kontrol ekipmanına bildirebilmektedir. Bu sayede: pil gerilimi, kalan enerji kapasitesi, enerji tüketim eğilimleri, bakım gereksinimleri önceden görülebilmektedir. Bu yaklaşım enerji kaynaklarının plansız şekilde tükenmesini büyük ölçüde engellemektedir. Yangın güvenliği açısından önemli olan unsur pilin sonsuza kadar dayanması değil, pil değişim ihtiyacının önceden öngörülebilmesidir.

7.4 Düşük Enerji Senaryoları

Kablosuz sistemlere yönelik en sık sorulan sorulardan biri şudur: “Pil biterse ne olur?” Modern sistemlerde bu senaryo kritik bir arıza olarak kabul edilmektedir. Enerji seviyesi belirli eşik değerlerin altına düştüğünde sistem kullanıcıyı bilgilendirmektedir. Bu bilgilendirme: kontrol paneli üzerinden, uzaktan izleme sistemleri üzerinden, bakım yazılımları üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla enerji kaybı ani ve görünmeyen bir olay olarak ortaya çıkmamaktadır. Bu yaklaşım enerji yönetiminin güvenilirlik üzerindeki etkisini önemli ölçüde artırmaktadır.

7.5 Enerji Verimliliği Ve Akıllı Çalışma Modları

Modern kablosuz yangın algılama sistemleri enerji tüketimini azaltmak amacıyla gelişmiş çalışma algoritmaları kullanmaktadır. Bu sistemlerde cihazlar sürekli yüksek güçte çalışmamaktadır. Bunun yerine: düşük enerji modları, uyarlanabilir haberleşme çevrimleri, optimize edilmiş veri aktarımı, akıllı güç yönetimi uygulanmaktadır. Bu yöntemler enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Aynı zamanda bakım maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

7.6 Bakım Yönetimi

Yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği yalnızca tasarım aşamasına bağlı değildir. Periyodik bakım faaliyetleri de sistem performansı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Kablosuz sistemlerde bakım süreçleri birçok durumda kolaylaşabilmektedir. Çünkü sistem; enerji seviyelerini, haberleşme performansını, cihaz durumlarını, arıza kayıtlarını otomatik olarak raporlayabilmektedir. Bu yaklaşım bakım ekiplerinin yalnızca zaman temelli değil, durum temelli bakım uygulamalarına da geçebilmesine olanak sağlamaktadır.

7.7 Yaşam Döngüsü Maliyeti

Yangın algılama sistemlerinde değerlendirme yalnızca ilk yatırım maliyeti üzerinden yapılmamalıdır. Toplam sahip olma maliyeti yaklaşımı; kurulum, bakım, işletme, modernizasyon, genişleme gibi süreçlerin tamamını kapsamaktadır. Kablosuz sistemlerde pil değişimi ilave bir maliyet unsuru olarak değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte; kablolama maliyetlerinin azalması, yapısal müdahalenin azalması, kurulum sürelerinin kısalması, genişleme kolaylığı gibi avantajlar toplam yaşam döngüsü maliyetini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Özellikle tarihi yapılar ve faaliyet gösteren tesislerde bu avantajlar daha belirgin hale gelmektedir.

7.8 Enerji Yönetimi Açısından Kablolu Ve Kablosuz Sistemlerin Değerlendirilmesi

Kablolu sistemlerde enerji merkezi olarak dağıtılmaktadır. Kablosuz sistemlerde ise enerji dağıtılmış yapıdadır. Her iki yaklaşımın avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Önemli olan enerji kaynağının türü değil, enerji durumunun ne ölçüde denetlenebildiğidir. Modern kablosuz yangın algılama sistemlerinde enerji seviyelerinin sürekli izlenmesi sayesinde enerji kaynakları güvenilir biçimde yönetilebilmektedir. Bu nedenle enerji yönetimi açısından değerlendirme yapılırken yalnızca pil kullanımına odaklanmak teknik olarak yeterli değildir.

7.9 Değerlendirme

Yangın güvenliği açısından enerji sürekliliği kritik bir performans kriteridir. Modern EN 54-25 uyumlu kablosuz sistemlerde kullanılan gelişmiş pil teknolojileri, sürekli enerji izleme mekanizmaları ve bakım yönetimi araçları sayesinde enerji kaynakları etkin biçimde yönetilebilmektedir. Dolayısıyla kablosuz sistemlerde güvenilirlik değerlendirmesi yapılırken “pil kullanılıyor olması” değil, enerji durumunun ne ölçüde izlenebildiği ve bakım süreçlerinin nasıl yönetildiği dikkate alınmalıdır. Bu yaklaşım EN 54-25’in performans temelli güvenlik felsefesi ile de uyumludur.

8. KABLOLU VE KABLOSUZ SİSTEMLERİN UYGULAMA ALANLARI AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde yalnızca teknik performans kriterleri değil, uygulama koşulları da dikkate alınmalıdır. Bir sistemin teorik olarak güvenilir olması tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda kurulacağı yapının mimari özelliklerine, kullanım amacına ve işletme gereksinimlerine uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle kablolu ve kablosuz yangın algılama sistemleri karşılaştırılırken yalnızca haberleşme teknolojisi değil, uygulama alanlarının özellikleri de değerlendirilmelidir. EN 54-25 standardının Avrupa’da yaygın kabul görmesinin temel nedenlerinden biri de kablosuz sistemlerin belirli yapı türlerinde önemli mühendislik avantajları sunabilmesidir.

8.1 Tarihi Yapılar Ve Kültürel Miras Alanları

Kablosuz yangın algılama sistemlerinin en yaygın kullanım alanlarından biri tarihi yapılardır. Tarihi yapıların korunmasında temel prensiplerden biri, yapıya mümkün olan en düşük fiziksel müdahalenin yapılmasıdır. Kablolu sistemlerde; kablo kanalları açılması, duvar delikleri oluşturulması, dekoratif yüzeylerin bozulması, tarihi dokunun zarar görmesi gibi riskler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle tescilli yapılarda bu müdahaleler çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Kablosuz sistemler ise bu yapılarda: minimum yapısal müdahale, hızlı kurulum, geri dönüştürülebilir uygulama, estetik bütünlüğün korunması avantajları sağlamaktadır. Avrupa’da çok sayıda müze, tarihi saray, katedral ve kültürel miras yapısında EN 54-25 uyumlu sistemlerin tercih edilmesinin temel nedeni budur. Yangın güvenliği sağlanırken mimari değerlerin korunabilmesi mümkün hale gelmektedir.

8.2 Hastaneler Ve Sağlık Tesisleri

Sağlık yapıları yangın güvenliği açısından özel gereksinimlere sahiptir. Bu yapılarda; yoğun insan trafiği, kritik hasta alanları, sürekli hizmet gerekliliği, yüksek işletme sürekliliği ihtiyacı bulunmaktadır. Kablolu sistemlerin kurulumu veya genişletilmesi sırasında yapılacak inşaat faaliyetleri sağlık hizmetlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Kablosuz sistemler ise işletmenin devam ettiği alanlarda daha düşük müdahale ile kurulabilmektedir. Ayrıca sağlık tesislerinde sık görülen fonksiyon değişiklikleri ve alan düzenlemeleri de kablosuz sistemlerin esnekliğini ön plana çıkarmaktadır. Yeni bölümlerin eklenmesi veya mevcut alanların yeniden yapılandırılması durumunda sistem genişletme işlemleri daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

8.3 Eğitim Yapıları

Üniversiteler, okullar ve araştırma merkezleri büyük ve karmaşık yapılardan oluşabilmektedir. Bu yapılarda: dönemsel kullanım değişiklikleri, yeni laboratuvar alanları, ilave derslikler, geçici kullanım bölgeleri oluşturulabilmektedir. Kablosuz sistemler bu tür değişimlere daha hızlı uyum sağlayabilmektedir. Özellikle yaz tatili gibi kısa zaman aralıklarında gerçekleştirilen yenileme çalışmalarında kurulum sürelerinin kısa olması önemli avantaj oluşturmaktadır.

8.4 Oteller Ve Konaklama Tesisleri

Konaklama tesislerinde işletme sürekliliği ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Kablolu sistem uygulamaları sırasında; oda kapatmaları, dekorasyon hasarları, işletme kesintileri oluşabilmektedir. Kablosuz sistemlerde ise montaj süresinin kısa olması ve yapısal müdahalenin sınırlı kalması işletme kayıplarını azaltabilmektedir. Ayrıca renovasyon projelerinde mevcut yapı elemanlarının korunması da mümkün olmaktadır. Bu nedenle Avrupa'daki birçok otel yenileme projesinde kablosuz yangın algılama sistemleri tercih edilmektedir.

8.5 Endüstriyel Tesisler

Endüstriyel tesisler yangın güvenliği açısından en zorlu uygulama alanlarından biridir. Bu yapılarda: yüksek elektromanyetik gürültü, büyük açıklıklar, çelik konstrüksiyonlar, değişken yerleşimler bulunabilmektedir. Bu koşullar hem kablolu hem de kablosuz sistemler için özel mühendislik çalışmaları gerektirmektedir. Modern EN 54-25 uyumlu sistemler gelişmiş haberleşme denetimi ve kapsama planlaması sayesinde bu ortamlarda da uygulanabilmektedir. Özellikle mevcut üretim tesislerinde yeni kablolama altyapısının oluşturulmasının zor olduğu durumlarda önemli avantajlar sağlayabilmektedir.

8.6 Havaalanları Ve Ulaşım Tesisleri

Havaalanları, tren istasyonları ve büyük ulaşım merkezleri yüksek kullanıcı yoğunluğuna sahip karmaşık yapılardır. Bu yapılarda: uzun haberleşme mesafeleri, yüksek tavan yükseklikleri, sürekli operasyon gereksinimi bulunmaktadır. Yangın algılama sistemlerinde yapılacak modernizasyon çalışmaları çoğu zaman işletme faaliyetleri devam ederken gerçekleştirilmektedir. Kablosuz sistemler bu süreçlerde işletme kesintilerini azaltabilmektedir. Ayrıca genişleme projelerinde yeni alanların sisteme entegre edilmesi daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

8.7 Mevcut Binalarda Modernizasyon Projeleri

Kablosuz sistemlerin en güçlü olduğu alanlardan biri mevcut yapıların modernizasyonudur. Birçok yapıda: eski yangın algılama sistemleri, yetersiz kablolama altyapıları, kullanım amacı değişiklikleri bulunmaktadır. Bu yapılarda yeni kablolama oluşturulması ciddi maliyet ve zaman gerektirebilmektedir. Kablosuz sistemler mevcut yapının kullanımını büyük ölçüde sürdürmesine olanak sağlayarak modernizasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle Avrupa pazarında kablosuz yangın algılama sistemlerinin önemli bölümü yeni yapılardan çok yenileme projelerinde kullanılmaktadır.

8.8 Toplam Risk Değerlendirmesi

Kablolu ve kablosuz sistemlerin karşılaştırılmasında yalnızca haberleşme teknolojisine odaklanmak eksik bir yaklaşım olacaktır. Toplam risk değerlendirmesi aşağıdaki unsurları içermelidir: teknik güvenilirlik, kurulum riski, işletme sürekliliği, bakım gereksinimleri, genişletilebilirlik, yaşam döngüsü maliyeti, yapısal müdahale seviyesi. Bu kriterler birlikte değerlendirildiğinde bazı uygulamalarda kablolu sistemlerin, bazı uygulamalarda ise kablosuz sistemlerin daha uygun çözüm oluşturabileceği görülmektedir. Dolayısıyla mühendislik yaklaşımı belirli bir teknolojiyi mutlak üstün olarak kabul etmek yerine uygulama koşullarına en uygun çözümün seçilmesini gerektirmektedir.

8.9 Değerlendirme

EN 54-25 uyumlu kablosuz yangın algılama sistemleri yalnızca alternatif bir haberleşme yöntemi değil, belirli uygulama alanlarında önemli mühendislik avantajları sunan güvenlik çözümleridir. Özellikle tarihi yapılar, sağlık tesisleri, eğitim yapıları, oteller ve modernizasyon projelerinde sağladıkları düşük yapısal müdahale, hızlı kurulum ve yüksek esneklik avantajları sayesinde önemli bir kullanım potansiyeline sahiptirler. Bu nedenle sistem seçiminde temel kriter haberleşme ortamı değil, yapının ihtiyaçları ve güvenlik hedefleri olmalıdır.

9. TÜRKİYE'DE KABLOSUZ YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNE YÖNELİK KABUL BARİYERLERİ VE TEKNİK GERÇEKLER

Kablosuz yangın algılama sistemleri Avrupa, Kuzey Amerika ve birçok gelişmiş pazarda uzun yıllardır uygulanmasına rağmen Türkiye'de halen sınırlı yaygınlığa sahiptir. Teknik olarak EN 54-25 standardı ile tanımlanmış ve Avrupa mevzuatı kapsamında kabul edilmiş olmalarına rağmen, uygulama aşamasında çeşitli tereddütlerle karşılaşılmaktadır. Bu durumun temel nedenleri incelendiğinde ortaya çıkan tablo, çekincelerin büyük ölçüde teknik yetersizliklerden değil, bilgi eksikliği, geçmiş uygulama deneyimleri ve alışılmış mühendislik yaklaşımlarından kaynaklandığını göstermektedir. Türkiye'de kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik yaklaşımın anlaşılabilmesi için teknik ve kurumsal faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

9.1 Tarihsel Algı Ve Teknolojik Gelişim

Türkiye'de yangın algılama sistemlerinin yaygınlaşmaya başladığı dönemde kullanılan kablosuz haberleşme teknolojileri günümüz sistemlerinden oldukça farklıydı. İlk nesil kablosuz uygulamalarda: sınırlı haberleşme kapasitesi, düşük işlem gücü, kısıtlı denetim yetenekleri, kısa pil ömrü, sınırlı hata yönetimi bulunmaktaydı. Bu sistemlerin oluşturduğu algı birçok uygulayıcı tarafından günümüzde de devam ettirilmektedir. Oysa günümüzde kullanılan EN 54-25 uyumlu sistemler sürekli denetim, çift yönlü haberleşme, gelişmiş enerji yönetimi ve sistem bütünlüğü denetimi gibi çok sayıda ilave güvenlik mekanizması içermektedir. Dolayısıyla geçmiş teknoloji deneyimlerinin günümüz sistemlerine doğrudan uygulanması teknik açıdan doğru sonuç vermemektedir.

9.2 Kablolu Sistemlerin "Doğal Olarak Daha Güvenilir" Kabul Edilmesi

Türkiye'de yaygın olarak karşılaşılan yaklaşımlardan biri kablolu sistemlerin kablosuz sistemlerden doğal olarak daha güvenilir olduğu yönündeki görüştür. Bu yaklaşımın temelinde fiziksel bağlantının görünür olması yatmaktadır. Ancak güvenilirlik mühendisliği açısından değerlendirildiğinde görünür bağlantı her zaman daha yüksek güvenilirlik anlamına gelmemektedir. Kablolu sistemlerde de: kablo kopmaları, kısa devreler, izolasyon bozulmaları, bağlantı hataları, mekanik hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle güvenilirlik değerlendirmesi haberleşme ortamına göre değil, sistemin hata yönetim kapasitesine göre yapılmalıdır. EN 54-25'in performans temelli yaklaşımı da bu anlayış üzerine kurulmuştur.

9.3 "Radyo Sinyali Kesilirse Ne Olur?" Sorusu

Türkiye'deki proje değerlendirme süreçlerinde en sık sorulan sorulardan biri haberleşme kesintisi senaryosudur. Bu soru teknik açıdan önemlidir. Ancak çoğu zaman eksik şekilde ele alınmaktadır. Asıl soru: "Radyo sinyali kesilirse sistem bunu algılıyor mu?" olmalıdır. Modern EN 54-25 uyumlu sistemlerde haberleşme kaybı denetim mekanizmaları tarafından tespit edilmekte ve kullanıcıya bildirilmektedir. Dolayısıyla haberleşme problemi gizli şekilde kalmamaktadır. Bu durum güvenlik mühendisliği açısından kritik öneme sahiptir. Çünkü görünür arıza, görünmeyen arızadan daha güvenlidir.

9.4 Pil Kullanımına Yönelik Endişeler

Kablosuz sistemlere yönelik bir diğer yaygın çekince enerji kaynaklarına ilişkindir. Birçok uygulayıcı pil kullanımını doğrudan güvenilirlik riski olarak değerlendirmektedir. Ancak modern sistemlerde enerji seviyesi sürekli olarak izlenmektedir. Pil durumu: kontrol panelinden, uzaktan izleme yazılımlarından, bakım uygulamalarından takip edilebilmektedir. Bu nedenle pil tükenmesi beklenmeyen ve görünmeyen bir olay olmaktan çıkmaktadır. Aslında teknik açıdan bakıldığında merkezi güç kaynağı arızalarının da benzer şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Önemli olan enerji kaynağının türü değil, enerji durumunun izlenebilir olmasıdır.

9.5 İtfaiye Teşkilatlarının Yaklaşımı

Türkiye'de birçok ilde yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde itfaiye teşkilatları önemli rol üstlenmektedir. İtfaiye teşkilatlarının temel sorumluluğu kamu güvenliğini korumaktır. Bu nedenle yeni teknolojilere karşı temkinli yaklaşmaları doğal bir durumdur. Ancak bazı durumlarda bu temkinli yaklaşım, standartlar tarafından kabul edilmiş teknolojilerin uygulama alanını sınırlayabilmektedir. Özellikle EN 54-25 standardının teknik kapsamının yeterince bilinmemesi nedeniyle kablosuz sistemler hakkında standart dışı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bu durum proje süreçlerinde farklı uygulamalara yol açabilmektedir.

9.6 Standart Temelli Değerlendirme İhtiyacı

Yangın güvenliği uygulamalarında karar süreçlerinin temel referansı ulusal ve uluslararası standartlar olmalıdır. Bir sistemin uygunluğu değerlendirilirken; üretici görüşleri, bireysel deneyimler, alışkanlıklar yerine standartlara uygunluk esas alınmalıdır. EN 54-25 Avrupa Birliği içerisinde kablosuz yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesi için oluşturulmuş resmi teknik çerçeveyi tanımlamaktadır. Bu nedenle değerlendirme süreçlerinde standardın gereklilikleri temel alınmalıdır.

9.7 Bilgi Eksikliği Ve Eğitim İhtiyacı

Türkiye'deki kabul bariyerlerinin önemli bir bölümünün bilgi eksikliğinden kaynaklandığı görülmektedir. Birçok teknik tartışmada: EN 54-25'in kapsamı, denetim mekanizmaları, haberleşme güvenliği prensipleri, hata yönetimi yaklaşımları yeterince bilinmemektedir. Bu durum yanlış değerlendirmelere yol açabilmektedir. Dolayısıyla teknik eğitim faaliyetlerinin artırılması önem taşımaktadır. Özellikle: itfaiye teşkilatları, proje mühendisleri, danışmanlık firmaları, denetim kuruluşları için EN 54-25 odaklı teknik eğitim programlarının oluşturulması faydalı olacaktır.

9.8 Uluslararası Uygulamaların Etkisi

Avrupa'da çok sayıda tarihi yapı, sağlık tesisi, eğitim yapısı ve kamu binasında EN 54-25 uyumlu sistemler kullanılmaktadır. Bu uygulamalar kablosuz sistemlerin teorik değil pratik olarak da güvenilir çözümler olduğunu göstermektedir. Türkiye'deki uygulamaların da uluslararası deneyimlerden yararlanması önemli avantajlar sağlayacaktır. Özellikle Avrupa'da kabul görmüş mühendislik yaklaşımlarının incelenmesi teknik karar süreçlerini destekleyebilir.

9.9 Değerlendirme

Türkiye'de kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik kabul bariyerleri incelendiğinde ortaya çıkan temel sonuç, çekincelerin önemli bölümünün teknik yetersizliklerden değil algısal ve kurumsal faktörlerden kaynaklandığıdır. EN 54-25 standardı kablosuz sistemlerin güvenilirliğini değerlendirmek için kapsamlı bir teknik çerçeve sunmaktadır. Bu nedenle sistemlerin değerlendirilmesinde teknolojiye yönelik önyargılar yerine standart temelli mühendislik yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Teknik farkındalığın artması ve standardın doğru yorumlanması durumunda, kablosuz yangın algılama sistemlerinin Türkiye'de daha geniş uygulama alanı bulabileceği değerlendirilmektedir.

10. EN 54-25 UYUMLU YENİ NESİL KABLOSUZ YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNİN TEKNİK YETKİNLİKLERİ

Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik değerlendirmelerde sıklıkla standart gereklilikleri ile güncel teknolojik imkanlar birbirine karıştırılmaktadır. EN 54-25 standardı sistemlerin sağlaması gereken performans kriterlerini tanımlamakta, ancak bu performansın hangi teknoloji ile elde edileceğini üreticilere bırakmaktadır. Bu nedenle günümüzde piyasada bulunan yeni nesil sistemlerin teknik yetkinlikleri çoğu zaman standardın asgari gerekliliklerinin ötesine geçmektedir. Özellikle son on yıl içerisinde haberleşme teknolojileri, mikroişlemci performansı, enerji yönetimi ve sayısal denetim yöntemlerinde yaşanan gelişmeler, kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirlik seviyesini önemli ölçüde artırmıştır.

10.1 Çift Yönlü Sayısal Haberleşme

Yeni nesil sistemlerin en önemli özelliklerinden biri çift yönlü sayısal haberleşme altyapısıdır. Bu yapılarda cihazlar yalnızca alarm bilgisi göndermemektedir. Aynı zamanda: komut doğrulaması, durum doğrulaması, erişilebilirlik kontrolü, bağlantı denetimi işlemleri de gerçekleştirilmektedir. Bu sayede haberleşme güvenilirliği önemli ölçüde artırılmaktadır. Kontrol ekipmanı yalnızca alarm alan bir merkez olmaktan çıkmakta, sistemin tüm bileşenlerini sürekli denetleyen aktif bir yönetim noktası haline gelmektedir.

10.2 Gelişmiş Radyo Frekansı Yönetimi

Modern sistemlerde kullanılan radyo frekansı yönetim teknikleri geçmiş nesil sistemlerden önemli ölçüde farklıdır. Gelişmiş sistemlerde; çoklu haberleşme kanalları, dinamik kanal seçimi, girişim analizi, otomatik haberleşme optimizasyonu gibi yöntemler kullanılabilmektedir. Özellikle Avrupa'da yaygın kullanılan 868 MHz bandı, yapı içi kapsama performansı ve girişim dayanıklılığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bazı sistemlerde cihazlar çevresel koşulları analiz ederek haberleşme parametrelerini otomatik olarak optimize edebilmektedir. Bu yaklaşım sistem güvenilirliğini artırmaktadır.

10.3 Yüksek Haberleşme Erişilebilirliği

Yeni nesil sistemlerin önemli özelliklerinden biri haberleşme erişilebilirliğinin sürekli olarak izlenmesidir. Sistem; cihaz erişilebilirliği, sinyal kalitesi, bağlantı kararlılığı, haberleşme performansı gibi parametreleri sürekli değerlendirebilmektedir. Bu sayede bağlantı problemleri henüz alarm fonksiyonlarını etkilemeden önce tespit edilebilmektedir. Erken uyarı mekanizmaları bakım süreçlerinin daha etkin yürütülmesini sağlamaktadır.

10.4 Gelişmiş Enerji Yönetimi

Modern sistemlerde enerji yönetimi yalnızca pil kullanımından ibaret değildir. Birçok gelişmiş cihaz: enerji tüketim optimizasyonu, uyarlanabilir çalışma çevrimleri, düşük güç modları, akıllı enerji planlaması uygulamaktadır. Bu yöntemler sayesinde saha cihazlarında çok uzun işletme süreleri elde edilebilmektedir. Bazı sistemlerde dedektörlerin ve alarm cihazlarının normal kullanım koşullarında yıllarca pil değişimi gerektirmeden çalışabildiği görülmektedir. Ancak burada kritik unsur pil ömrünün uzunluğu değil, enerji seviyesinin sürekli olarak izlenebilmesidir.

10.5 Haberleşme Kalitesinin Ölçülebilmesi

Klasik sistemlerde haberleşmenin çalışıp çalışmadığı çoğu zaman yalnızca arıza oluştuğunda anlaşılmaktadır. Yeni nesil sistemlerde ise haberleşme kalitesi sayısal olarak izlenebilmektedir. Bu kapsamda: sinyal seviyesi, bağlantı güvenilirliği, haberleşme kararlılığı, çevresel değişimler sürekli değerlendirilebilmektedir. Bu yaklaşım bakım ekiplerine önemli avantajlar sağlamaktadır. Sistem performansındaki düşüşler arıza oluşmadan önce tespit edilebilmektedir.

10.6 Gelişmiş Alarm Doğrulama Mekanizmaları

Modern yangın algılama sistemlerinde yanlış alarm oranlarının azaltılması önemli hedeflerden biridir. Bu amaçla bazı sistemlerde: çoklu algılama prensipleri, gelişmiş sinyal işleme yöntemleri, ortam analizi algoritmaları, alarm doğrulama mekanizmaları kullanılmaktadır. Bu teknolojiler gerçek yangın belirtileri ile çevresel etkilerin daha etkin biçimde ayrıştırılmasına katkı sağlamaktadır. Böylece hem güvenlik seviyesi artırılmakta hem de gereksiz tahliyelerin önüne geçilebilmektedir.

10.7 Uzaktan Denetim Ve Sayısal İzleme

Yeni nesil sistemlerin önemli avantajlarından biri uzaktan erişim ve sayısal denetim imkanlarıdır. Yetkili kullanıcılar sistem durumunu uzaktan takip edebilmektedir. Bu kapsamda: cihaz durumları, enerji seviyeleri, arıza kayıtları, alarm geçmişleri, haberleşme performansları izlenebilmektedir. Bu yaklaşım özellikle büyük ölçekli yapılarda işletme verimliliğini artırmaktadır.

10.8 Yazılım Destekli Bakım Yaklaşımı

Modern sistemlerde bakım süreçleri yalnızca fiziksel kontrollerden oluşmamaktadır. Birçok sistem bakım faaliyetlerini destekleyen gelişmiş yazılımlar kullanmaktadır. Bu yazılımlar sayesinde: bakım planlaması, cihaz geçmişi takibi, arıza analizi, performans değerlendirmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum sistem güvenilirliğinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.

10.9 EN 54-25 Gerekliliklerinin Ötesine Geçen Yaklaşım

EN 54-25 standardı kablosuz yangın algılama sistemleri için gerekli asgari performans kriterlerini tanımlamaktadır. Ancak günümüzdeki gelişmiş sistemler incelendiğinde birçok üreticinin bu asgari gerekliliklerin ötesine geçtiği görülmektedir. Sürekli denetim, gelişmiş haberleşme analizi, uzun ömürlü enerji yönetimi ve sayısal izleme teknolojileri sayesinde kablosuz yangın algılama sistemleri yalnızca alternatif çözümler olmaktan çıkmış, yüksek teknoloji içeren güvenlik platformlarına dönüşmüştür.

10.10 Değerlendirme

Yeni nesil EN 54-25 uyumlu sistemler, kablosuz haberleşmenin sağladığı esnekliği gelişmiş denetim mekanizmaları ile birleştirerek yüksek güvenilirlik seviyelerine ulaşabilmektedir. Bu sistemlerde güvenilirlik yalnızca haberleşme teknolojisinden değil; sürekli denetim, hata görünürlüğü, enerji yönetimi ve sistem bütünlüğü prensiplerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla modern kablosuz yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde geçmiş nesil teknolojilerden kaynaklanan algılar yerine güncel teknik yetenekler ve standart uyumluluğu esas alınmalıdır.

11. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında EN 54-25 standardı çerçevesinde kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği teknik açıdan incelenmiş, sistem mimarisi, haberleşme sürekliliği, elektromanyetik dayanıklılık, enerji yönetimi ve uygulama alanları bakımından değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgular, kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik birçok çekincenin güncel teknolojik gerçekliklerden ziyade geçmiş uygulama deneyimlerinden ve bilgi eksikliğinden kaynaklandığını göstermektedir. Özellikle Türkiye'de yaygın olarak dile getirilen "haberleşme kesintisi", "pil bağımlılığı" ve "elektromanyetik girişim" temelli endişelerin, EN 54-25 kapsamında tanımlanan sistem denetimi ve hata yönetimi mekanizmaları dikkate alındığında farklı şekilde değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

11.1 Güvenilirlik Kavramının Yeniden Değerlendirilmesi

Yangın güvenliği uygulamalarında güvenilirlik kavramı uzun yıllar boyunca fiziksel bağlantı varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu yaklaşımın sonucu olarak kablolu sistemler çoğu zaman varsayılan güvenilir çözüm olarak kabul edilmiştir. Ancak modern güvenilirlik mühendisliği prensipleri incelendiğinde güvenilirliğin; hata oluşma olasılığı, hatanın algılanabilmesi, sistemin hata karşısındaki davranışı, güvenlik fonksiyonlarının sürdürülebilirliği gibi parametrelerin birleşiminden oluştuğu görülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde haberleşme ortamının kablolu veya kablosuz olması tek başına belirleyici bir kriter değildir. Asıl belirleyici unsur sistemin arızaları ne ölçüde görünür hale getirebildiğidir. EN 54-25'in temel yaklaşımı da bu anlayışa dayanmaktadır.

11.2 Sessiz Arıza Riski Açısından Değerlendirme

Yangın algılama sistemlerinde en kritik risklerden biri sessiz arıza durumudur. Bir dedektörün görevini yerine getirememesine rağmen sistem tarafından fark edilmemesi güvenlik açısından ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen teknik gereklilikler göstermektedir ki modern kablosuz sistemlerde sürekli denetim yaklaşımı sayesinde sessiz arıza riski önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu durum bazı açılardan geleneksel yaklaşımlardan daha yüksek görünürlük sağlamaktadır. Çünkü sistem yalnızca alarm üretimini değil, cihaz erişilebilirliğini de sürekli takip etmektedir. Dolayısıyla güvenilirlik değerlendirmelerinde yalnızca haberleşme ortamının değil hata görünürlüğünün de dikkate alınması gerekmektedir.

11.3 Performans Temelli Standart Yaklaşımı

EN 54-25'in önemli özelliklerinden biri performans temelli bir standart olmasıdır. Standart belirli bir teknoloji kullanımını zorunlu kılmamakta, ulaşılması gereken güvenlik performansını tanımlamaktadır. Bu yaklaşım teknolojik gelişmelere uyum sağlayabilme açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Örneğin standart; belirli bir frekans bandı, belirli bir haberleşme yöntemi, belirli bir donanım mimarisi tanımlamamaktadır. Bunun yerine sistemin hata senaryoları karşısındaki davranışını esas almaktadır. Bu durum kablosuz sistemlerin gelişen teknoloji ile birlikte sürekli olarak iyileştirilebilmesine imkan vermektedir.

11.4 Türkiye'deki Kabul Bariyerlerinin Değerlendirilmesi

Çalışmanın önemli bulgularından biri Türkiye'deki kabul bariyerlerinin önemli ölçüde algısal karakter taşımasıdır. Saha uygulamalarında karşılaşılan çekinceler incelendiğinde; standart bilgisinin sınırlı olması, eski teknoloji deneyimlerinin etkisi, kablolu sistem alışkanlıkları, risk algısının farklı yorumlanması gibi faktörlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu durum yalnızca Türkiye'ye özgü değildir. Birçok ülkede yeni teknolojilerin ilk uygulama dönemlerinde benzer direnç mekanizmalarının ortaya çıktığı bilinmektedir. Ancak zaman içerisinde standartların yaygınlaşması ve başarılı uygulama örneklerinin artması ile bu dirençlerin azaldığı gözlemlenmektedir. Türkiye'de de benzer bir dönüşüm potansiyeli bulunmaktadır.

11.5 Uygulama Alanları Açısından Değerlendirme

Kablosuz sistemlerin en önemli avantajlarından biri belirli yapı türlerinde sağladıkları uygulama esnekliğidir. Özellikle: tarihi yapılar, sağlık tesisleri, eğitim yapıları, oteller, mevcut binaların modernizasyon projeleri gibi alanlarda kablosuz sistemler önemli mühendislik avantajları sunmaktadır. Bu avantajlar yalnızca kurulum kolaylığı ile sınırlı değildir. Aynı zamanda yapısal müdahalenin azaltılması, işletme sürekliliğinin korunması ve genişletilebilirlik gibi unsurları da kapsamaktadır. Bu nedenle sistem seçiminde yalnızca ilk yatırım maliyetleri değil, yaşam döngüsü yaklaşımı dikkate alınmalıdır.

11.6 Gelecek Teknolojik Gelişmeler

Kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişim devam etmektedir. İşlemci performanslarının artması, enerji yönetim teknolojilerinin gelişmesi ve haberleşme algoritmalarının iyileşmesi kablosuz yangın algılama sistemlerinin gelecekte daha da gelişeceğini göstermektedir. Özellikle: gelişmiş veri analizi, yapay zekâ destekli hata tahmini, durum temelli bakım yaklaşımları, gelişmiş sistem entegrasyonları gibi alanlarda yeni gelişmeler beklenmektedir. Bu nedenle kablosuz sistemlerin mevcut durumlarının yanı sıra gelecekteki gelişim potansiyelleri de dikkate alınmalıdır.

11.7 Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma standart gereklilikleri ve teknik prensipler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında belirli bir üreticiye ait saha verileri kullanılmamıştır. Ayrıca geniş ölçekli istatistiksel performans analizleri de yapılmamıştır. Bu nedenle gelecekte; saha performans verileri, yanlış alarm istatistikleri, bakım kayıtları, yaşam döngüsü maliyet analizleri üzerinden gerçekleştirilecek çalışmalar literatüre önemli katkılar sağlayabilecektir.

11.8 Genel Değerlendirme

Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan temel bulgu, modern EN 54-25 uyumlu kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğinin haberleşme ortamı üzerinden değil, sistem denetimi ve hata yönetimi prensipleri üzerinden değerlendirilmesi gerektiğidir. Güvenilirlik yalnızca sinyalin iletilmesi değil, sinyalin iletilemediği durumların da sistem tarafından algılanabilmesidir. Modern kablosuz sistemler bu yaklaşımı destekleyen kapsamlı teknik mekanizmalara sahiptir. Dolayısıyla kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik değerlendirmelerde geçmiş nesil teknolojilerden kaynaklanan algılar yerine güncel standartlar ve teknik performans kriterleri esas alınmalıdır.

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada EN 54-25 standardı kapsamında kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği teknik açıdan incelenmiş ve kablosuz sistemlere yönelik yaygın çekinceler mühendislik perspektifinden değerlendirilmiştir. Sistem mimarisi, haberleşme sürekliliği, elektromanyetik dayanıklılık, enerji yönetimi ve uygulama alanları üzerinden gerçekleştirilen analizler sonucunda, modern kablosuz yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğinin yalnızca haberleşme ortamına bağlı olmadığı, esas olarak sistem denetimi ve hata yönetimi prensiplerine dayandığı görülmüştür. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, EN 54-25 standardının yalnızca cihaz performansını değil, sistem bütünlüğünü ve güvenlik fonksiyonlarının sürekliliğini de kapsayan kapsamlı bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymuştur. Standart; haberleşme kayıplarının algılanması, cihaz erişilebilirliğinin sürekli denetlenmesi, arıza durumlarının raporlanması ve güvenlik fonksiyonlarının korunması gibi gerekliliklerle kablosuz sistemlerin güvenilirliğini sistem seviyesinde ele almaktadır. Kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik en yaygın üç çekince olan haberleşme kesintisi, pil bağımlılığı ve elektromanyetik girişim konuları detaylı olarak incelendiğinde, modern sistemlerde kullanılan sürekli denetim mekanizmalarının bu riskleri önemli ölçüde yönetebildiği görülmektedir. Özellikle cihaz erişilebilirliğinin sürekli kontrol edilmesi ve hata durumlarının kullanıcıya bildirilmesi sayesinde sessiz arıza riskinin azal-

tıldığı değerlendirilmektedir. Çalışmanın önemli sonuçlarından biri, kablosuz sistemlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde haberleşme teknolojisinden çok hata görünürlüğünün dikkate alınması gerektiğidir. Güvenilirlik yalnızca alarm bilgisinin iletilmesi değil, alarm iletimini etkileyebilecek tüm arıza senaryolarının sistem tarafından algılanabilmesi ve raporlanabilmesi anlamına gelmektedir. EN 54-25 standardının temel yaklaşımı da bu prensip üzerine kurulmuştur. Modern kablosuz yangın algılama sistemleri incelendiğinde, güncel teknolojilerin birçok açıdan standardın asgari gerekliliklerinin ötesine geçtiği görülmektedir. Çift yönlü sayısal haberleşme, gelişmiş frekans yönetimi, sürekli bağlantı denetimi, uzun ömürlü enerji yönetimi ve uzaktan izleme kabiliyetleri gibi özellikler, sistemlerin güvenilirlik seviyesini artırmaktadır. Bu gelişmeler kablosuz sistemlerin yalnızca alternatif çözümler değil, yüksek teknoloji içeren gelişmiş yangın güvenliği platformları haline geldiğini göstermektedir. Türkiye özelinde yapılan değerlendirmeler ise kablosuz yangın algılama sistemlerine yönelik kabul bariyerlerinin önemli ölçüde teknik olmayan faktörlerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Özellikle geçmiş nesil sistem deneyimleri, kablolu sistemlere yönelik yerleşik alışkanlıklar ve EN 54-25 standardına ilişkin bilgi eksikliği, uygulama süreçlerinde temkinli yaklaşımlara neden olabilmektedir. Ancak uluslararası uygulamalar ve mevcut teknik standartlar dikkate alındığında, EN 54-25 uyumlu sistemlerin güvenilirliğine ilişkin güçlü bir teknik altyapının bulunduğu görülmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir: Yangın algılama sistemlerinin değerlendirilmesinde teknoloji türü yerine standart uygunluğu esas alınmalıdır. EN 54-25 standardının kapsamı hakkında proje mühendisleri, danışmanlık kuruluşları ve denetim otoritelerine yönelik teknik eğitim faaliyetleri artırılmalıdır. İtfaiye teşkilatları ve onay mercileri tarafından gerçekleştirilen değerlendirmelerde uluslararası standartlar temel referans olarak kullanılmalıdır. Türkiye›de kablosuz yangın algılama sistemlerine ilişkin saha performans verilerinin toplanması ve akademik çalışmalarla desteklenmesi teşvik edilmelidir. Tarihi yapılar, sağlık tesisleri, eğitim yapıları ve modernizasyon projeleri gibi kablosuz teknolojilerin önemli avantajlar sağlayabileceği uygulama alanlarında farkındalık çalışmaları yürütülmelidir. Sonuç olarak EN 54-25 uyumlu kablosuz yangın algılama sistemleri, uygun mühendislik tasarımı ve doğru uygulama koşulları altında kablolu sistemlerle eşdeğer güvenilirlik seviyesine ulaşabilmekte ve bazı uygulama alanlarında önemli operasyonel avantajlar sunabilmektedir. Bu nedenle kablosuz yangın algılama teknolojilerinin değerlendirilmesinde geçmiş algılar yerine güncel standartlar, teknik performans kriterleri ve bilimsel veriler esas alınmalıdır. Bu yaklaşımın benimsenmesi, yangın güvenliği alanında teknolojik gelişmelerin daha etkin kullanılmasına ve yapı güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] TS EN 54-25, Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri – Bölüm 25: Radyo Frekansı Yoluyla Bağlanan Bileşenler, Türk Standartları Enstitüsü.

[2] EN 54-25:2008, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Part 25: Components Using Radio Links and System Requirements, European Committee for Standardization (CEN).

[3] EN 54-2, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Control and Indicating Equipment, CEN.

[4] EN 54-4, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Power Supply Equipment, CEN.

[5] EN 54-3, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Fire Alarm Devices – Sounders, CEN.

[6] EN 54-5, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Heat Detectors, CEN.

[7] EN 54-7, Fire Detection and Fire Alarm Systems – Smoke Detectors, CEN.

[8] Construction Products Regulation (CPR) No. 305/2011, European Parliament and Council of the European Union.

[9] European Committee for Standardization (CEN/TC72), Fire Detection and Fire Alarm Systems Technical

Documentation.

[10] International Organization for Standardization, ISO 7240 Series – Fire Detection and Alarm Systems.

[11] British Standards Institution, BS 5839-1: Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings – Code of Practice for Design, Installation, Commissioning and Maintenance.

[12] National Fire Protection Association, NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code.

[13] Bukowski, R.W., Peacock, R.D., Averill, J.D., Fire Detection and Alarm Systems Engineering Principles, National Institute of Standards and Technology.

[14] Klote, J.H., Milke, J.A., Principles of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers.

[15] Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition.

[16] Türk Standardları Enstitüsü, Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri Standardları Kılavuzu. [17] CEN Fire Safety Standards Programme Reports. [18] European Fire Safety Alliance, Fire Detection Technologies and Future Trends Report.

KISA ÖZGEÇMİŞ

İlker Topuz
1975 yılında doğdu. 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2015 yılından bu yana çok uluslu firmalarda yangın algılama sistemleri konusunda çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

PLANNING REQUIREMENTS FOR AUDIBLE AND VISUAL FIRE ALARM SYSTEMS ACCORDING TO EN 54

René Jarvers

ABSTRACT

The planning of audible and visual fire alarm systems in accordance with EN 54 standards requires designers to consider relevant acoustic, visual, and environmental parameters as well as regulatory constraints. Key factors include sound pressure levels, defined coverage volumes of visual alarm devices, and ambient conditions to ensure reliable occupant notification.

In modern environments, increasing background noise levels and diverse requirements reduce the effectiveness of purely audible signaling, making multi-sensory alarm concepts essential. Visual alarm devices complement audible signals and support accessibility requirements through the implementation of the two-sense principle.

This paper outlines the essential requirements of EN 54-3 and EN 54-23 and introduces three-dimensional coverage modelling and digital twin approaches as methods to support more accurate planning, enhanced transparency, and improved system reliability.

Keywords: EN 54-3, EN 54-23, Audible signaling, Visual alarm devices, Three-dimensional coverage modelling, Digital twin

SUMMARY

Audible and visual fire alarm systems must meet strict performance requirements defined in EN 54 standards. Audible devices must ensure sufficient sound pressure levels under site-specific environmental conditions, while visual devices must guarantee the required coverage within defined volumes.

A performance-based planning approach, supported by three-dimensional modelling, enables a realistic evaluation of system coverage. By considering environmental parameters such as background noise, system reliability and planning efficiency can be improved significantly.

TECHNICAL BASIS AND PLANNING APPROACH

Audible Alarm Devices (EN 54-3)

EN 54-3 defines requirements, test procedures, and performance criteria for acoustic alarm devices used in fire alarm systems [1]. These devices must provide reliable acoustic warning signals that are clearly perceivable within the protected area.

Effective planning requires consideration of environmental noise, signal attenuation, and frequency characteristics. The sound pressure level decreases by approximately 6 dB when doubling the distance, which must be considered in system design.

In addition to general equipment requirements, EN 54-3 specifies requirements, which must be defined for each individual tone. The emitted sound pressure in both horizontal and vertical directions is characterized and forms part of the product certification. As a result, the achievable sound pressure level varies depending on the selected tone and the measurement angle.

Sound emission varies depending on directivity and frequency characteristics, which are represented in polar diagrams and must be considered for accurate positioning.

National regulations further define application-specific requirements, including the required level above ambient noise and the tone to be used. Typical requirements for sound pressure level above ambient noise include, for example, 10 dB in Germany and Austria, 6 dB in the Netherlands and 5 dB in the United Kingdom and Italy [3-5].

In addition, specific tones may be mandated depending on the country, such as DIN tone (Germany), slow whoop (Netherlands), alternating tone (France) or two-tone signals (United Kingdom).

Visual Alarm Devices (EN 54-23)

EN 54-23 specifies requirements for visual alarm devices, including light output and defined coverage characteristics [1]. The standard defines coverage volumes for wall-mounted (W), ceiling-mounted (C), and open area (O) devices.

A minimum illuminance of 0.4 lx must be achieved within the defined coverage volume. The different mounting categories define geometry and installation constraints.

Visual alarm devices are typically required in high-noise environments and to support accessibility requirements based on the two-sense principle.

Three-Dimensional Coverage Modelling

Three-dimensional coverage modelling evaluates the effectiveness of alarm signaling by combining acoustic and visual performance parameters with environmental conditions. This method considers sound propagation, light distribution, and obstacles within real spatial environments.

It enables optimized device placement, potential reduction of the number of devices, and improved planning reliability.

Digital Twin and BIM Integration

Building Information Modeling (BIM) enables the digital representation of fire alarm systems, including their functional performance. Geometric models alone are not sufficient – functional data such as coverage must be integrated.

Digital twins allow simulation of system performance, validation of compliance, and early detection of design errors.

The integration of coverage data into BIM environments ensures better coordination and lifecycle management.

From Theoretical Requirements to Practical Application

While EN 54-3 and EN 54-23 define clear performance criteria for audible and visual alarm devices, the practical implementation of these requirements in real environments remains a complex engineering task. Standard-based design parameters such as minimum sound pressure levels or defined coverage volumes must be evaluated under real operating conditions, including background noise, spatial geometry, and dynamic environmental influences.

In large industrial applications, simplified planning assumptions are often insufficient to ensure reliable alarm perception. Therefore, performance-based approaches that incorporate realistic environmental parameters and spatial modelling are essential.

Case Study: Fire Alarm Signaling in Logistics Centers

A practical example highlighting these challenges is the implementation of fire alarm signaling systems in large logistics and distribution centers.

In one application, a major global e-commerce distribution hub was equipped with audible alarm devices to ensure reliable warning coverage in a highly dynamic environment. These facilities are typically characterized by large open floor areas, ceiling heights of up to 12–18 meters, and continuously changing storage configurations. In addition, high background noise levels are generated by conveyor systems, automated storage and retrieval systems, and transportation processes [6].

According to EN 54-3, the alarm signal must exceed the ambient noise level by at least 10 dB(A) at any accessible point In logistics environments, typical background noise levels can range between 70 dB(A) and 85 dB(A), requiring alarm devices to deliver sound pressure levels in the range of 80–95 dB(A) across large distances.

However, sound propagation is significantly affected by the spatial structure. Sound pressure decreases by approximately 6 dB with each doubling of distance. Furthermore, obstacles such as high shelving systems, goods, and moving equipment lead to additional attenuation and shadowing effects, creating uneven sound distribution.

To address these challenges, a structured placement of alarm devices was required to ensure uniform acoustic coverage. In areas with particularly high or fluctuating noise levels, visual alarm devices were additionally considered to support the audible signaling. This approach follows the two-sense principle and ensures reliable alarm perception even under adverse acoustic conditions.

This case demonstrates that conventional planning approaches based on simplified distance calculations do not adequately reflect real conditions in large-scale industrial facilities. Instead, performance-based planning methods that incorporate spatial modelling, sound propagation analysis, and environmental parameters provide a more accurate and reliable basis for system design

Case Study: Visual Alarm Devices in Public Infrastructure

The importance of EN 54-23 compliant visual alarm devices is demonstrated in large public infrastructure projects. A prominent example is the implementation of visual fire alarm systems at the EXPO 2015 in Milan, which hosted more than 21 million visitors.

In this project, certified EN 54-23 beacon lights were installed to ensure reliable visual alarm coverage across large and architecturally complex areas.

Compared to wall-mounted (W) or ceiling-mounted (C) solutions, the use of certified open area (O) visual alarm devices with clearly defined coverage characteristics allowed a significant reduction in the number of devices required while maintaining full compliance with the standard.

The case clearly demonstrates that EN 54-23 fundamentally changes the planning methodology for optical alarm systems by introducing measurable performance parameters such as coverage volume and minimum illuminance. As a result, visual alarm system design becomes more transparent, verifiable, and aligned with real building conditions.

Link to Advanced Planning Methods

The challenges observed in both logistics and public infrastructure environments clearly demonstrate the limitations of conventional planning approaches.

In logistics centers, acoustic performance is heavily influenced by environmental noise, distance effects, and spatial obstacles, making simplified distance-based calculations insufficient. Similarly, in public infrastructure projects such as EXPO 2015, the introduction of EN 54-23 has implemented a design approach with clearly defined and measurable coverage requirements.

These examples highlight a common conclusion: reliable fire alarm system design requires a transition from rule-of-thumb planning to performance-based engineering.

Three-dimensional coverage modelling provides a powerful method to address these challenges. By simulating acoustic propagation and visual light distribution within the actual building geometry, planners can evaluate system performance under realistic conditions, including obstacles, reflections, and varying environmental influences.

This approach enables:

accurate prediction of sound pressure levels and light coverage

identification of shadow zones and under-covered areas

optimization of device placement and reduction of overdesign

Furthermore, the integration of these simulation models into Building Information Modeling (BIM) environments and digital twins allows a continuous validation of system performance throughout the design process.

Instead of verifying compliance after installation, planners can ensure conformity with EN 54-3 and EN 54-23 requirements at an early stage, reducing risks, costs, and design iterations.

Ultimately, advanced planning methods transform fire alarm system design into a transparent, data-driven engineering process, significantly improving reliability, efficiency, and regulatory compliance in complex real-world applications.

CONCLUSION

The planning of EN 54 compliant audible and visual fire alarm systems requires a comprehensive understanding of performance parameters and environmental influences.

The combination of acoustic and optical signaling ensures reliable alarm perception.

Advanced planning approaches such as 3D coverage modelling and digital twin integration significantly enhance system efficiency, safety and transparency.

References

[1] EN 54-3

[2] EN 54-23

[3] Germany - VDE 0833-Teil 2

[4] UK – BS5839

[5] Netherlands - NEN 2555, NEN 2575

[6] pfannenberg.com

BRIEF CURRICULUM VITAE

René Jarvers is Director Sales Signaling Solutions EMEA with expertise in fire alarm systems and digital planning methods.

TS EN 17451 VE NFPA20'NİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ VE YANGIN YÖNETMELİĞİNDE KULLANIMI

Serdar KINIK

ÖZET

Yangın pompa sistemleri, sabit yangın söndürme tesisatlarının güvenilirliği ve sürekliliği açısından kritik bir role sahiptir. Bu sistemlerin tasarım, seçim, test ve uygulama esasları; ulusal mevzuatlar ile uluslararası standartlar tarafından tanımlanmaktadır. Yangın pompa sistemleri alanında uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan ve düzenli revizyonlarla güncellenen NFPA 20 standardı, sektörde temel bir referans doküman niteliği taşımaktadır. Buna karşılık, Türkiye'nin de üyesi olduğu CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi) bünyesindeki ülkeler tarafından hazırlanan ve 2025 yılında yürürlüğe giren TS EN 17451 standardı, yangın pompa sistemlerine ilişkin gereklilikleri Avrupa standardizasyon yaklaşımı çerçevesinde ele almaktadır. Türkiye'de yangın pompa sistemlerine yönelik asgari şartlar ise "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" kapsamında düzenlenmektedir.

Bu çalışmada, TS EN 17451 standardı, yangın pompa sistemlerinin teknik gerekliliklerinin değerlendirilmesinde esas alınmış; standardın ilgili maddeleri EN 12259-12 kapsamında tanımlanan bileşen ve performans kriterleri ile birlikte ele alınarak incelenmiştir. Ayrıca, TS EN 17451 standardının bakım ve periyodik kontrol konularında doğrudan hüküm içermemesi, pompa öncesi ve sonrası boru hatları bulunmaması nedeniyle, bu başlık altındaki gereklilikler EN 12845 standardına yapılan atıflar çerçevesinde değerlendirilmiştir. Değerlendirme, sektörde yaygın olarak kullanılan NFPA 20 standardı ile karşılaştırmalı olarak ele alınmış; benzerlikler ve teknik yaklaşım farklılıkları ortaya konulmuştur. Ayrıca, Türkiye Yangın Yönetmeliği hükümlerinin bu standartlarla olan ilişkisi ve uygulamadaki yansımaları değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Yangın pompası, TS EN 17451, TS EN 12259-12, TS EN 12845, NFPA 20, Yangın Yönetmeliği, sabit yangın söndürme sistemleri

COMPARATİVE EVALUATİON OF TS EN 17451 AND NFPA 20 AND THEİR ROLE IN THE FİRE REGULATİON

Fire pumps play a critical role in ensuring the reliability and continuity of fire protection systems. The principles governing the design, selection, testing, and implementation of these systems are defined by national regulations and international standards. NFPA20, which has long been widely used in the field of fire pump systems and is continuously updated through regular revisions, serves as a fundamental reference document for the industry.On the other hand, TS EN 1745, developed by the member countries of CEN (European Committee for Standardization), of which Türkiye is also a member, and puplished in 2025, addresses the requirements for fire pump systems within the European standardization approach. In Türkiye, the minimum requirements for fire pump systems are regulated under the "Regulation on the Protection of Buildings from Fire".

In this study, the TS EN 17451 standard is taken as the basis for evaluating the technical requirements of fire pump systems, and its examined together with the component and performance criteria defined in EN 12259-12. Furthermore, since TS EN 17451 does not include direct provisions on maintenance and

periodic inspection and suction-discharge pipeline requirements, the related requirements are evaluated within the framework of references made to EN 12845. The evaluation is conducted comparatively with the NFPA 20 standard, and similarities as well as differences in technical approaches are identified. In addition, the relationship between the Turkish Fire Protection Regulation and these standards, along with their practical implications, is also evaluated.
Keywords: Fire pumps, TS EN 17451, TS EN 12259-12, TS EN 12845, NFPA 20, Fire Regulation, Fixed firefighting systems

1. GİRİŞ

Yangınlar, yapıların can ve mal güvenliği açısından en önemli risklerden biri olup, yangının kontrol altına alınabilmesi sabit yangın söndürme sistemlerinin güvenilir şekilde çalışmasına bağlıdır. Su bazlı söndürme sistemlerinde gerekli debi ve basıncın yangın süresince kesintisiz olarak sağlanması ise yangın pompa sistemlerinin doğru tasarımı ve güvenilir işletilmesi ile mümkündür.

Yangın pompa sistemlerinin tasarım ve uygulama esasları uzun yıllardır NFPA 20 standardı ile tanımlanmakta olup, bu standart uluslararası ölçekte temel referans dokümanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Avrupa standardizasyon sisteminde ise uzun yıllar boyunca yangın pompa sistemlerine ilişkin hükümler ağırlıklı olarak EN 12845 standardı içerisinde yer almış, ancak bu standart esas olarak sprinkler sistemlerinin hidrolik tasarımına odaklandığından pompa setlerinin tasarımı, yapısal özellikleri, performans kriterleri ve deney yöntemleri konusunda ayrıntılı hükümler içermemiştir.

Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) bünyesinde yalnızca yangın pompa setlerine yönelik yeni bir standart hazırlanmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen EN 17451 standardının ilk taslağı 2019 yılında yayımlanmış, üye ülkelerden alınan teknik görüşler doğrultusunda yapılan revizyonların ardından standart 2025 yılında yürürlüğe girmiştir. Böylece Avrupa standardizasyon sisteminde, yangın pompa setlerinin tasarım, imalat, performans, deney ve belgelendirme esaslarını düzenleyen bağımsız bir standart ilk kez oluşturulmuştur.

Türkiye'de yangın pompa sistemlerine ilişkin uygulamalar, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile birlikte uluslararası standartlar çerçevesinde yürütülmektedir. NFPA 20'nin uzun yıllardır yaygın olarak kullanılması ve TS EN 17451 standardının yürürlüğe girmesiyle birlikte, iki standardizasyon yaklaşımının teknik açıdan karşılaştırılması ve Türkiye'deki uygulamalar açısından değerlendirilmesi önem kazanmıştır.

2. TS EN 17451 STANDARDININ YAPISI VE KAPSAMI

TS EN 17451, "Sabit Yangın Söndürme Sistemleri – Otomatik Püskürtme (Fıskiye) Sistemleri – Pompa Takımlarının Tasarımı, Montajı, Kurulumu ve Hizmete Alınması" başlığıyla yayımlanmış olup, yangın pompa takımlarının tasarımı, montajı, kurulumu ve devreye alınmasına ilişkin gereklilikleri tanımlamaktadır. Standart, CEN/TC 191 "Fixed Firefighting Systems" teknik komitesi tarafından hazırlanmış, EN 17451:2024 olarak yayımlanmış ve Ocak 2025 tarihinde TS EN 17451 olarak Türk standardı haline getirilmiştir.

Standart; pompa, sürücü, kontrol sistemi ve yardımcı ekipmanların bir bütün olarak değerlendirilmesini esas almakta olup yangın pompa takımının performans, güvenilirlik ve işlevsellik kriterlerini belirlemektedir fakat yangın pompa sistemlerine ilişkin tüm gereklilikleri tek bir doküman altında toplamamaktadır. Pompa performans kriterleri EN 12259-12 standardı ile, sistem tasarımı ve işletme gereklilikleri ise EN 12845 standardı ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle standardın teknik değerlendirmesinin söz konusu standartlarla birlikte yapılması gerekmektedir.

2.1 EN 12259-12 ile İlişkisi

TS EN 17451, yangın pompasının performans ve uygunluk kriterlerini doğrudan EN 12259-12 standardına dayandırmaktadır. Pompanın tipi, yapısı, malzeme seçimi ve pompanın performansına yönelik teknik doğrulama kriterlerini EN 12259-12 standardına bırakmaktadır.

2.2 EN 12845 ile İlişkisi

TS EN 17451 standardı, sprinkler sistemlerinin hidrolik tasarım kriterlerini, tehlike sınıflarını veya sistemin ihtiyaç duyduğu debi ve basınç değerlerini tanımlamamaktadır. Bu veriler EN 12845 standardı kapsamında belirlenmekte, TS EN 17451 ise söz konusu tasarım gerekliliklerini karşılayacak pompa takımının özelliklerini tanımlamaktadır.

Ayrıca, test ve periyodik kontrol faaliyetlerine ilişkin ayrıntılı gereklilikler, pompa emme ve basma hattı hakkındaki bilgilerde de TS EN 17451 içerisinde kapsamlı olarak yer almamakta, ilgili hususlar EN 12845 standardına yapılan atıflar aracılığıyla ele alınmaktadır.

3. NFPA 20 STANDARDININ YAPISI VE KAPSAMI

NFPA 20, “Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection” başlığıyla yayımlanmakta olup, yangın koruma sistemlerinde kullanılan sabit yangın pompalarının seçimi, kurulumu, sürücü sistemleri, kontrol panoları, yardımcı ekipmanları, kabul testleri ve işletmeye alınmasına ilişkin gereklilikleri tanımlamaktadır. Standart, National Fire Protection Association (NFPA) tarafından hazırlanmakta olup, ilk kez 1899 yılında yayımlanmış ve günümüze kadar düzenli revizyonlarla güncellenerek yangın pompa sistemleri alanında uluslararası ölçekte en yaygın kullanılan referans standartlardan biri haline gelmiştir.

NFPA 20, yangın pompa sistemine ilişkin teknik gereklilikleri büyük ölçüde tek bir doküman içerisinde ele almakta; pompa sistemi, sürücüler, kontrol ekipmanları, yardımcı donanımlar, kabul testleri ve işletmeye alma esaslarını bütüncül bir yaklaşımla tanımlamaktadır. Bununla birlikte, sprinkler sistemlerinin hidrolik tasarımı, su kaynağı gereklilikleri ve diğer yangın söndürme sistemlerine ilişkin hükümler başta NFPA 13 olmak üzere ilgili NFPA standartlarında düzenlenmektedir.

4. YANGIN POMPA SİSTEMİ BİRLEŞENLERİ

Her iki standart, yangın pompa sistemini oluşturan ana bileşenleri benzer şekilde tanımlamakla birlikte, bileşenlerin kapsamı, teknik özellikleri ve sisteme entegrasyonuna ilişkin yaklaşımları bakımından farklılık göstermektedir.

Pompa sayısı bakımından iki standart benzer bir yaklaşım benimsemekle birlikte, zorunlu yedeklilik kriterleri farklılık göstermektedir. TS EN 17451 ve ilişkili EN 12845 standartlarında pompa sayısı sabit olarak tanımlanmamış olup, sistem talebi, seçilen su kaynağı ve gerekli güvenilirlik seviyesine göre belirlenmektedir. Buna göre bazı uygulamalarda tek pompa yeterli kabul edilirken, üstün tek su kaynağı düzenlerinde en az iki pompa zorunlu tutulmaktadır. Ayrıca, su beslemesinin pompalara birbirinden bağımsız iki farklı tanktan sağlandığı düzenlerde yalnızca bir pompanın elektrik motoru ile tahrik edilmesine izin verilmektedir. ESFR sistemlerinde ise toplam gerekli kapasitenin en az %50'sini karşılayabilecek üç pompa kullanılması tavsiye edilmektedir. Buna karşılık NFPA 20, standart uygulamalarda tek ana yangın pompasını yeterli görmekte; ancak itfaiye teşkilatının basınç desteğinin yetersiz kalacağı çok yüksek yapılarda sistem güvenilirliğini artırmak amacıyla en az bir yedek yangın pompası bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır.

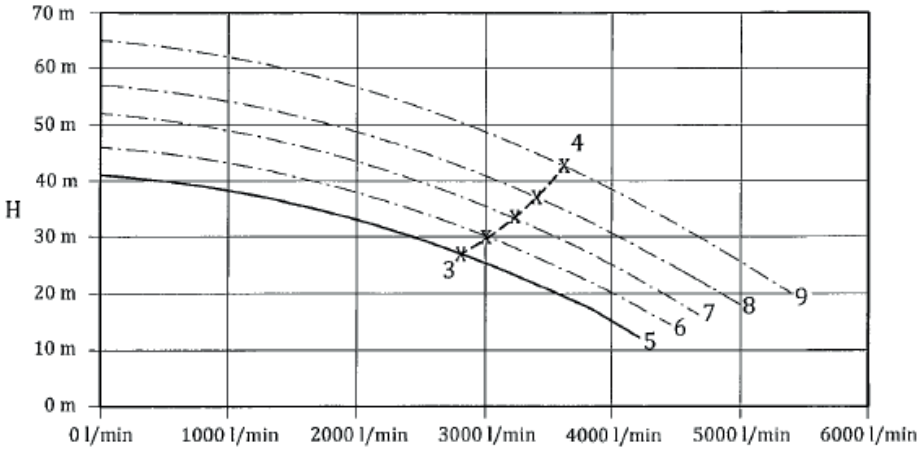
4.1 Salyangoz Gövde Tasarım Kriterleri ve Hidrolik Performans

Avrupa standardizasyon sisteminde salyangoz gövde TS EN 12259-12:2023 standardı altında incelenmiştir ve kullanılan pompa tipleri aşağıdaki gibidir;

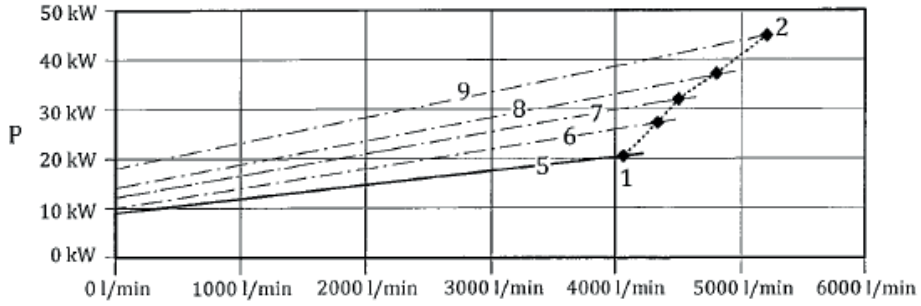
- Uçtan emişli pompalar (Monoblok veya uzun milli), back pull-out tip,
- Yatay eksenli ayrılabilir gövdeli pompalar,
- Kademeli pompalar (çok kademeli, tek veya çok çıkışlı),
- Tek veya çok kademeli inline pompalar (emme ve basma ağzı aynı hat üzerinde),
- Derin kuyu pompaları
- Türbin tip pompalar

Pompa performansının temelini oluşturan hidrolik karakteristik eğrileri, "kararlı" bir yapıda olmalıdır; pompanın anma debisinin (Qr) %140'ında, anma debisindeki basıncın en az %70'ini sağlayabilmesidir. Ayrıca, kapalı vana basıncının, maksimum basma yüksekliğinin en fazla %5 veya 0,5 bar (hangisi daha küçükse) altında kalmasına izin verilir.

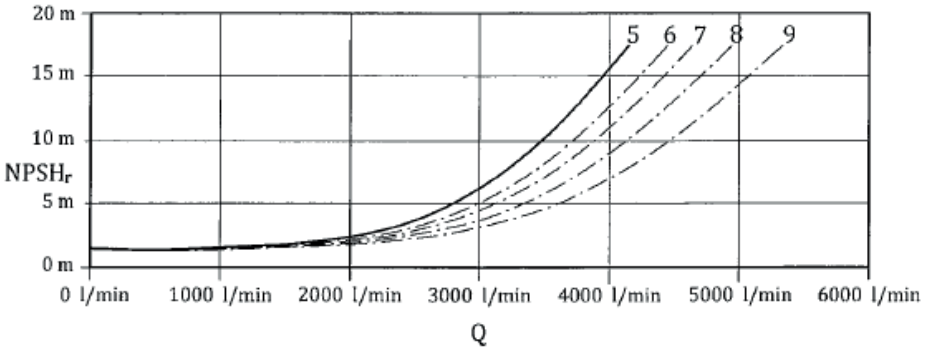
Karakteristik eğriler çizilirken, pompanın en az 16 m NPSHr değerine karşılık gelen debi noktasına (Şekil 1) kadar performansını göstermesi ya da aşırı yükleme yapmayan bir güç eğrisi sergilemesi (Şekil 2) istenir. Eğer pompa aşırı yüklenmesiz güç karakteristiği sergiliyorsa, tüm eğriler, maksimum güç tüketimi debisinin en az %15 üzerinde olacak şekilde uzatılmalıdır.



a) Sürekli artan güç tüketimine sahip pompalar - H/Q



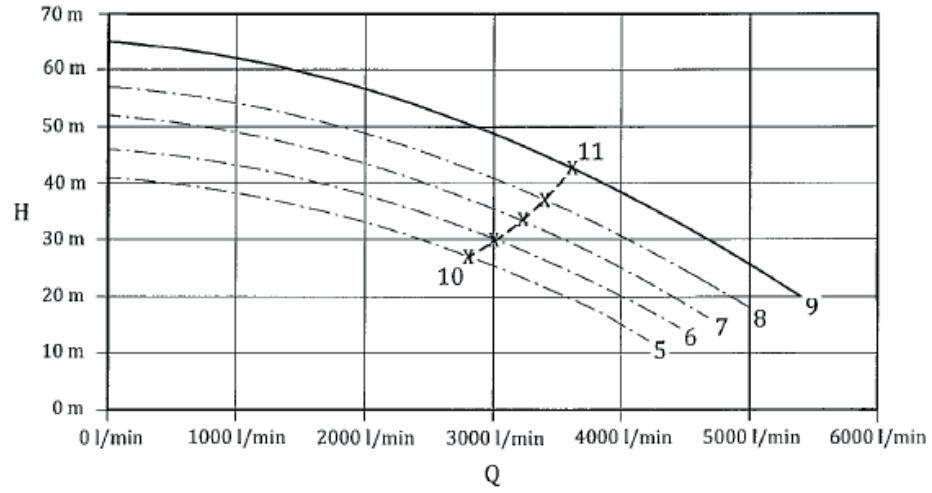
b) Sürekli artan güç tüketimine sahip pompalar - P/Q



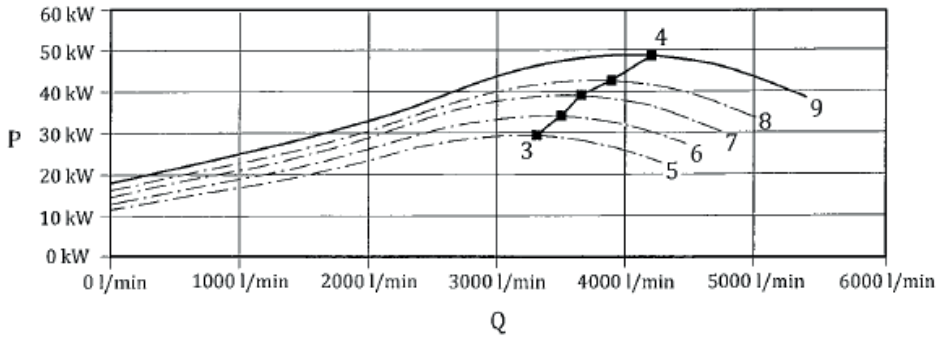
c) Sürekli artan güç tüketimine sahip pompalar - NPSHr/Q

1 - 2 : 16 m NPSHr'de güç tüketimi
3 - 4 : 5 m NPSHr
5 : Çark Φ1 mm (gerçek pompa performansı)
6 : Çark Φ2 mm
7 : Çark Φ3 mm
8 : Çark Φ4 mm
9 : Çark Φ5 mm

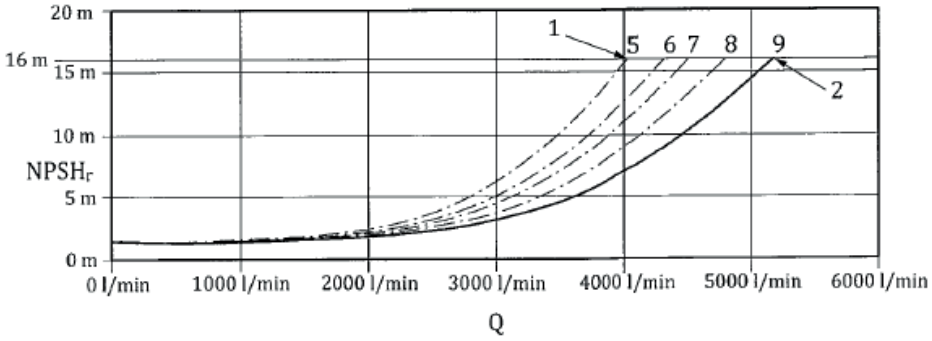
Şekil 1 - Sürekli artan güç tüketimine sahip pompalar için tipik eğriler



a) Aşırı yüklenmesiz güç karakteristiğine sahip pompalar için örnek eğri – H/Q



b) Aşırı yüklenmesiz güç karakteristiğine sahip pompalar için örnek eğri – P/Q



c) Aşırı yüklenmesiz güç karakteristiğine sahip pompalar için örnek eğri–NPSHr/Q

1 - 2 : 16 m NPSHr'de emilen güç
3 - 4 : Pompa tarafından emilen maksimum güç
5 : Çark Φ1 mm
6 : Çark Φ2 mm
7 : Çark Φ3 mm
8 : Çark Φ4 mm
9 : Çark Φ5 mm (gerçek pompa performansı)
10 - 11 : 5 m NPSHr

Şekil 2 - Aşırı yüklenmesiz güç karakteristiğine sahip pompalar için tipik eğriler

Performans değerlendirmesi için eğri üzerinde en az 7 farklı noktada ölçüm yapılmalı ve anma hızı 3600 d/dak değerini geçmemelidir.

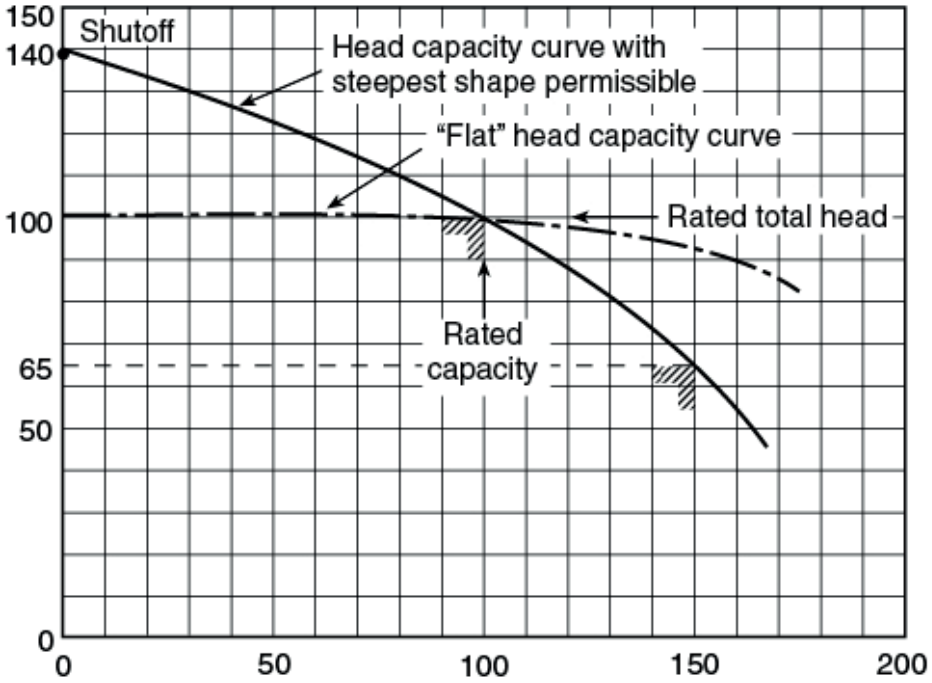
Malzeme gereksinimlerine göre pompa gövdesi dökme demir, çelik, paslanmaz çelik veya bronz gibi korozyona dayanıklı malzemelerden, miller ise paslanmaz çelikten üretilmelidir. Mil kovanı, mekanik salmastra metal parçaları, çarklar, çark bağlantı elemanları (çark somunları, kilitleme plakaları veya rondelalar ve ayar yayları) ve aşınma halkaları ile bunların karşı parçaları bronz veya paslanmaz çelikten yapılmalıdır.

NFPA 20 (2025) standardı kapsamında ise yangın pompaları; santrifüj (tek veya çok kademeli, yatay veya dikey şaftlı) ve pozitif deplasmanlı pompalar olarak sınıflandırılmaktadır. Santrifüj pompa kategorisinde;

- Uçtan emişli
- Hat tipi (in-line)
- Yatay veya dikey ayrılabilir gövdeli (split-case)
- Çok kademeli çok çıkışlı
- Dikey şaftlı türbin tipi modeller tanımlanmıştır.

Köpük konsantresi ve su sisi sistemleri için kullanılan pozitif deplasmanlı pompalar ise dişli, pistonlu, döner loblu ve döner kanatlı tiplerden oluşur.

Pompaların hidrolik performans karakteristiği üç ana nokta üzerinden belirlenir: pompanın net kapalı vana basıncı anma basıncının %140'ını geçmemeli, anma debisinin %150'sine ulaşıldığında ise anma basıncının en az %65'ini sağlayabilmelidir. Sürücü üniteleri pompayı anma debisinin %150›sine kadar olan tüm akış aralığında çalıştırabilecek maksimum gücü (pik yükü) karşılayacak kapasitede boyutlandırılmalıdır.



Şekil 3 – NFPA20 Kapsamında tipik bir eğri

Mekanik dayanım ve malzeme kriterlerinde ekipmanın yangın koruma hizmeti için "listelenmiş" olması temel şarttır. Kullanılacak malzemeler korozif dirence sahip olmalıdır. Dikey türbin tipi pompalar gibi özel modellerde çanağın sıkı taneli dökme demir veya bronz, çarkların ise bronz malzemeden olması istenirken; korozyona dayanıklı malzemeler genel olarak pirinç, bakır ve paslanmaz çelik olarak tanımlanmıştır.

Parametre	**TS EN 12259-12**	**NFPA 20**
Kapalı Vana Basıncı	Maksimum basma yüksekliğinin en fazla %5 veya 0,5 bar (küçük olan) altında olabilir. Üst sınır verilmemiştir.	Net shut-off basıncı, anma basıncının %101 ile %140'ı arasında olmalıdır.
Pik Kapasite ve Basınç	Anma debisinin (Qr) %140'ında, anma basıncının en az %70'ini sağlamalıdır.	Anma debisinin %150'sinde, anma basıncının en az %65'ini sağlamalıdır.
Sürücü (Motor) Boyutlandırma	Yükselen güç eğrileri için en az 16 m NPSHr noktasına veya pik güce göre seçilir.	Anma debisinin %150'sine kadar olan tüm aralıktaki maksimum gücü karşılamalıdır.
Test Noktaları	Karakteristik eğri değerlendirmesi için en az 7 farklı noktada ölçüm yapılır.	Fabrika ve saha testlerinde genellikle 3 ana nokta (shut-off, anma, %150) ölçülür.
Aşırı Isınma Önlemi	Baypas akışı ile 2 saat çalışabilmeli ve sıcaklık artışı 10 °C'yi geçmemelidir.	Her pompada otomatik bir sirkülasyon tahliye vanası bulunması zorunludur.
Malzeme Gereksinimleri	Dökme demir, paslanmaz çelik, bronz vb. malzeme listesi sunar.	"Listelenmiş" olma şartı esastır; dikey türbin gibi tiplerde döküm ve bronz detayı verir.

4.2. Kaplin Uygulamaları

Yangın pompası sistemlerinde kaplin gereksinimleri, NFPA 20 ve EN 17451 standartlarında farklı teknik felsefelerle ele alınır. NFPA 20'ye göre pompa ile sürücü (elektrik motoru veya dizel motor) arasındaki güç aktarımı, yangın pompası hizmeti için listelenmiş esnek kaplin veya esnek bağlantı şaftı aracılığıyla sağlanmalıdır. Kullanılan kaplin, üreticinin belirttiği güç ve devir sınırları içerisinde çalışabilecek kapasitede olmalı, listeleme şartlarına uygun şekilde monte edilmeli ve işletme sırasında oluşabilecek sınırlı paralel ve açısal kaçıklıkları tolere edebilecek özellikte olmalıdır.

Buna karşılık EN 17451, tork iletiminin mekanik sürekliliğini garanti altına alan "fail-safe" (hata-emniyetli) tasarımı esas alır ve güç aktarımında sadece elastomerik malzemeye güvenen kaplinlerin kullanımını ke-

sinlikle yasaklar. EN standardı, sürücü tipine ve dişli kutusu varlığına göre değişen (elektrikli motorlar için 1,25; dizel üniteler için 2,5'e kadar) hesaplanmış emniyet katsayılarını (SFk) seçim kriteri olarak belirler

4.3. Pompa Seti Kontrolü

TS EN 17451 ve NFPA 20, yangın pompa sistemlerinde temel tasarım yaklaşımı olarak maksimum güvenilirlik ve kesintisiz çalışmayı esas alır. Her iki standartta da her pompanın kendine ait bir kontrol panosu olması gerektiğini söyler ve sistemin bir kez otomatik olarak devreye girmesinden sonra manuel durdurma prensibi uygulanır. Bu nedenle pompa, bir operatör müdahalesi olmadan durdurulamaz. NFPA 20'de yalnızca otomatik test işlemleri sırasında otomatik durdurmaya izin verilir. Her iki standardın temel amacı, yangın sırasında oluşabilecek arızaların pompanın çalışmasını durdurmamasını ve gerektiğinde pompanın görevini yerine getirene kadar çalışmaya devam etmesini sağlamaktır.

Kontrol panolarının konumlandırılması konusunda da benzer bir yaklaşım benimsenmiştir. TS EN 17451'e göre her pompa setinin kendine ait bağımsız bir kontrol paneli bulunmalı ve bu panel (dalgıç pompalar hariç) kontrol ettiği ekipmanla aynı odada ve mümkün olduğunca yakın konumda yer almalıdır. NFPA 20 ise kontrolörün motora mümkün olduğunca yakın ve motorun doğrudan görüş alanı içinde yerleştirilmesini zorunlu kılar. Pano koruma sınıfında ise iki standart arasında farklılık bulunmaktadır. TS EN 17451 tüm kontrol panoları için minimum IP54 koruma sınıfını şart koşarken, NFPA 20 genel uygulamalarda NEMA Type 2 (yaklaşık IP31) korumasını yeterli kabul eder. Ancak değişken frekans sürücülü (VFD) kontrolörlerde NFPA 20 de minimum IP54 koruma seviyesini zorunlu hale getirir.

Basınç algılama ve otomatik çalıştırma mimarisi açısından en belirgin fark yedeklilik yaklaşımında ortaya çıkmaktadır. TS EN 17451, her pompa seti için iki bağımsız basınç algılama elemanı (basınç şalteri ve/veya basınç transmiteri) kullanılmasını zorunlu tutar. Bu algılayıcılar seri, paralel veya şalter-transmiter kombinasyonu şeklinde düzenlenebilir ve bağlantı hatları kısa devre ile hat kopmasına karşı sürekli izlenmelidir. Buna karşılık NFPA 20, her kontrolör için yalnızca bir bağımsız basınç algılama hattı ister ve ilave bir yedek sensör zorunluluğu getirmez. Bunun yerine algılama hattının güvenilirliğini artırmak amacıyla hattın pirinç, sert bakır veya paslanmaz çelik borudan yapılmasını ve üzerinde hiçbir kesme vanası bulunmamasını şart koşar.

Pompa çalıştırma kriterleri de farklı yöntemlerle tanımlanmaktadır. TS EN 17451, TS EN 12845'e uygun olarak pompa başlangıç basınçlarını kapalı vana basıncının oranları üzerinden belirler. Buna göre ilk pompa basınç 0,8p, ikinci pompa ise 0,6p seviyesine düştüğünde otomatik olarak devreye girer ve çalışmaya başladıktan sonra yalnızca manuel olarak durdurulabilir. NFPA 20 ise mutlak basınç oranları yerine ardışık basınç farkı (psi/bar) yaklaşımını benimser. Tipik uygulamada pompanın kapalı vana basıncı üzerine statik emme basıncı eklenerek bulunan basınç referans alınır; jokey pompası bunun yaklaşık 10 psi (0,68 bar) altında çalışacak şekilde ayarlanırken, yangın pompası da jokey pompasının çalışma basıncının yaklaşık 10 psi (0,68 bar) daha altında, yedek pompa da (varsa) bunun 10 psi (0,68 bar)altında devreye girecek şekilde ayarlanır. Bu kademeli tetikleme mantığı, sistemin kararlı çalışmasını sağlayarak gereksiz pompa devreye girişlerini önlemeyi amaçlar.

4.3.1. Elektrikli pompa seti kontrolü

TS EN 17451 ve NFPA 20, elektrikli yangın pompası kontrolörleri için benzer temel fonksiyonları öngörmektedir. Her iki standartta da kontrolör tipi, bileşen boyutlandırması, VFD kullanımı, kilitli rotor akımı, kalkış özellikleri, ölçüm doğruluğu, izleme fonksiyonları ve alarm çıkışlarına ilişkin gereklilikler yer almaktadır. Ancak NFPA 20 bu konuları daha ayrıntılı teknik kriterler ve sayısal sınırlarla tanımlarken, TS EN 17451 daha genel performans gerekliliklerini vermektedir. Özellikle VFD arızasında otomatik bypass süresi, hazır

olma süresi, LRC açma karakteristikleri, terminal bağlantıları ve izleme fonksiyonları gibi konularda NFPA 20 daha ayrıntılı hükümler içermektedir.

TS EN 17451 ve NFPA 20, elektrikli yangın pompası kontrol panolarında izleme, alarm ve uzaktan sinyal iletimi açısından benzer temel gereklilikler içermektedir. Her iki standart da pompanın çalışmaya hazır durumunun sürekli izlenmesini ve kritik arızaların operatöre bildirilmesini amaçlamaktadır. Bununla birlikte, ölçüm doğruluğu, sinyal yapısı ve çalışma bilgisinin doğrulanması bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır.

TS EN 17451; şebeke durumu, düşük voltaj, faz hatası, başlatma hatası ve pompanın çalışması gibi temel durumların pano üzerinde gösterilmesini isterken, NFPA 20 bunlara ilave olarak güç mevcudiyeti, faz tersliği ve motor aşırı yükü gibi durumların da izlenmesini şart koşmaktadır. Ölçüm doğruluğu açısından TS EN 17451 voltmetre ve ampermetreler için ±%3 hassasiyet öngörürken, NFPA 20 hat gerilimi ve akımı ölçen cihazlarda ±%2 hassasiyet istemektedir.

Uzaktan sinyal iletiminde TS EN 17451; “pompa çalışıyor”, “başlatma hatası” ve “otomatik mod kapalı” sinyallerinin ayrı ayrı iletilmesini, düşük voltaj, faz hatası ve motor aşırı yükü gibi elektriksel arızaların ise “ortak arıza” sinyali altında toplanmasını öngörmektedir. NFPA 20 ise faz kaybı, faz tersliği, alternatif güç kaynağına geçiş ve kontrolör arızası gibi durumların ayrı ayrı izlenmesini ve raporlanmasını istemektedir.

İki standart arasındaki en önemli fark, «pompa çalışıyor» bilgisinin doğrulanma yöntemidir. TS EN 17451, bu bilginin pompanın basma hattındaki bir basınç algılama cihazı ile doğrulanmasını zorunlu tutarken, NFPA 20 motorun çalışması veya kontrolörün çalışma durumu gibi elektriksel bilgiler üzerinden değerlendirme yapmaktadır. Ayrıca NFPA 20, pompa odasının sürekli gözetim altında olmadığı tesislerde kritik alarm sinyallerinin sürekli gözetim altında bulunan bir noktaya iletilmesini ve bu devrenin 125 V’u aşmayan, denetlenen bağımsız bir güç kaynağından beslenmesini istemektedir.

Kablolama konusunda ise iki standart farklı yaklaşım benimsemektedir. TS EN 17451, kontrol panosu ile motor arasındaki kablonun ek yapılmadan tek parça olarak çekilmesini zorunlu tutarken, NFPA 20 uygun kablolama yöntemleri kapsamında terminal veya bağlantı kutusu (junction box) kullanımına belirli şartlar altında izin vermektedir.

TS EN 17451, yangın pompalarının enerji sürekliliğinin sağlanmasını zorunlu tutmakla birlikte, ATS panolarının tasarımı, yapısı ve fonksiyonlarına ilişkin ayrıntılı teknik hükümler içermemektedir. Buna karşılık NFPA 20, otomatik transfer panosunu yangın pompa sisteminin ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirmekte ve seçim, performans, çalışma prensibi ile test gerekliliklerini ayrıntılı olarak tanımlamaktadır. Avrupa standardizasyon yaklaşımında ise ATS panoları, yangın pompasından ziyade binanın elektrik güç dağıtım sisteminin bir parçası olarak ele alınmaktadır.

4.3.2. Dizel pompa seti kontrolü

TS EN 17451 ve NFPA 20, dizel yangın pompası kontrol panolarında izlenmesi gereken sinyaller bakımından büyük ölçüde benzer gereklilikler içermekle birlikte, sinyallerin doğrulanması, sunuluş şekli ve kapsamı açısından farklı yaklaşımlar benimsemektedir. TS EN 17451, tanımlanan yaklaşık 20 farklı çalışma ve arıza durumunun pano üzerinde ayrı ayrı görsel olarak gösterilmesini zorunlu tutarken, NFPA 20 kritik arızalar için görsel göstergelerin yanında pano üzerinde sesli alarm kullanılmasını istemektedir.

İki standart arasındaki en önemli farklardan biri elektrik motorlu pompalarda olduğu gibi, “pompa çalışıyor” bilgisinin elde edilme yöntemidir. TS EN 17451, bu bilginin yalnızca motorun çalışmasına değil, pom-

panın basma hattındaki basınç algılama cihazından alınan sinyalle doğrulanmasını şart koşmaktadır. Buna karşılık NFPA 20, bu durumu motorun çalışması veya kontrolörün çalışma komutu gibi elektriksel/mekanik bilgiler üzerinden değerlendirmektedir.

Batarya izleme konusunda da iki standart farklı yaklaşım sergilemektedir. TS EN 17451, her akü grubunun şarj durumunun pano üzerinde bir şarj ampermetresi ile izlenmesini isterken, NFPA 20 sabit bir ampermetre zorunluluğu getirmemekte; batarya ve şarj sisteminin doğru şekilde izlenmesini ve arızalarının görsel olarak bildirilebilmesini yeterli görmektedir.

NFPA 20, özellikle yakıt sistemi ve motor güvenliği konusunda daha ayrıntılı alarm gereklilikleri içermektedir. Yakıt seviyesinin tank kapasitesinin üçte ikisine düşmesi, çift cidarlı tanklarda ara boşluk sızıntısı, yakıt bakım ihtiyacı, düşük soğutma suyu akışı gibi durumlar NFPA 20'de ayrıca izlenmektedir. Buna karşılık TS EN 17451, yakıt vanasının kapalı olması ve sistemin "pompa talebi" altında bulunması gibi durumların izlenmesini açıkça istemektedir.

Sonuç olarak TS EN 17451, pano üzerindeki tüm çalışma ve arıza bilgilerinin tek tek gösterilmesine ve pompanın çalışmasının hidrolik olarak doğrulanmasına ağırlık verirken; NFPA 20 alarm yönetimi, sesli uyarılar ve özellikle yakıt sistemi ile motor güvenliğine ilişkin daha kapsamlı izleme fonksiyonları tanımlamaktadır.

4.4. Elektrikli Sürücüler

Avrupa standartları elektrik motorları için EN 60034-1 standartlarını takip ederken, NFPA NEMA MG-1 standardını talep etmektedir ve motorların yangın kullanımı için listelenmiş olmasını talep eder.

EN 17451'e göre motor gücü, pompanın güç eğrisinin tepe noktasında veya 16 m NPSHr noktasında ihtiyaç duyulan gücünün en az %5 fazlasını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca motor servis faktörünün kullanımına izin vermez. NFPA 20 ise pompanın anma hızında ve herhangi bir akış koşulundaki maksimum pompa yükünü karşılayacak gücün (%150) sağlanmasını talep etmektedir. Motor servis faktörünün de en fazla %15 olacak şekilde kullanımına izin vermektedir. Fakat bu motorun %150 noktasından küçük seçilmesine izin vermemektedir. Bu sadece kısa süreli dalgalanmalarda kullanılabilecek bir marjdır.

Her iki standartta çevresel faktörlerin etkisine (rakım ve sıcaklık) dikkat edilmesini ve uygun şekilde güç düşümlerinin yapılması gerektiğini belirtir. Buna paralel olarak da pompa odası sıcaklığının 4C'de tutulmasını ister.

4.5. Dizel Sürücüler

Güç kapasitesi ve boyutlandırma kriterleri açısından EN 17451, dizel motorun pompanın güç eğrisinin tepe noktasında veya 16 m NPSHr noktasında ihtiyaç duyulan gücün en az %10 fazlasını sağlamasını zorunlu tutar. NFPA 20 (2025) ise benzer bir yaklaşımla, motorun pompanın maksimum yükünü (%150) karşılayacak kapasiteden en az %10 fazla olmasını talep eder.

Çevresel faktörlerin performansa etkisi konusunda hem EN hem de NFPA normları, deniz seviyesinden 91,4m yükseklik sonrası 300 m yükseklik için %3, standart sıcaklık olan 25 °C'nin üzerindeki her 5,5 °C artış için ise motor gücünden %1 düzeltme yapılmasını şart koşar. Oda sıcaklığı 10C olması istenir.

Sistemin acil durumda hayata geçmesini sağlayan marş mekanizmalarında ise süre ve döngü farkları mevcuttur. EN 17451, motorun 5 °C oda sıcaklığında 15 saniye içinde tam güce ulaşmasını beklerken, otomatik marş döngüsünün her biri 7,5 ile 15 saniye süren toplam 6 denemeden oluşmasını ve denemeler arası en fazla 10 saniye dinlenme olmasını ister. NFPA 20 ise motorun 20 saniye içinde anma hızına ulaşmasını

talep eder ve marş döngüsünü 15 saniye marş, 15 saniye dinlenme şeklinde sabitlenmiş 6 deneme olarak tanımlar.

Her iki standart grubu da temel olarak ısı değiştiricili ve radyatörlü sistemlere izin verirken; Avrupa normları ek olarak doğrudan hava soğutmalı motorları da bir seçenek olarak sunmaktadır.
Modern teknolojilerin bir parçası olan Elektronik Kontrol Modülleri (ECM) söz konusu olduğunda, her iki standart da yedekliliği merkezine alır. Birincil ECM'nin arızalanması durumunda sistemin tam güç üretmeye devam edebilmesi için ikinci bir yedek ECM ünitesinin kalıcı olarak monte edilmiş olması ve geçişin otomatik yapılması şarttır. Ancak EN normları, bu geçiş sırasında motorun durmasına izin verirken, motorun 35 saniye içinde tekrar tam hıza ulaşmasını bekler. NFPA ise ECM geçişi sırasında motorun durmamasını veya durursa (otomatik test modunda değilse) derhal yeniden başlamasını öngörür.

Operasyonel felsefe açısından en köklü ayrım "durdurma" kurallarında karşımıza çıkar. EN 17451, motorun yangın anında hasar görme riskini göze alarak çalışma sürekliliğini önceler ve motor izleme cihazlarının (yağ basıncı, su sıcaklığı vb.) motoru otomatik olarak durdurmasını kesinlikle yasaklar; bu sistemde motor sadece manuel (elle) olarak veya aşırı hız (%7,5 overspeed) durumunda durdurulabilir. Buna karşılık NFPA 20, motoru korumak adına düşük yağ basıncı ve yüksek sıcaklık gibi durumları "Kritik Motor Durdurma Alarmları" olarak sınıflandırır ve yangın gibi başka bir başlatma veya çalıştırma sebebi yoksa, özellikle otomatik testler sırasında motorun kapatılmasına izin veren daha esnek bir yapı sunar.

Hız kontrolü (governor) hassasiyetinde ise EN normları normal yük altında ±%5 gibi daha dar bir aralık beklerken, NFPA 20 bu toleransı %10 olarak belirlemiştir.

Her iki standart grubu da temel bir gereklilik olarak her motorun kendine ait, diğer ünitelerden tamamen bağımsız bir egzoz sistemine sahip olması gerektiğini şart koşar. Bu sistemlerin tasarımında ana kısıtlayıcı faktör, toplam egzoz karşı basıncının motor üreticisi tarafından beyan edilen limitleri asla aşmaması zorunluluğudur. Kurulum detaylarına inildiğinde standartlar arasında belirgin bir derinlik farkı görülmektedir. NFPA 20, motor çıkışı ile egzoz borusu arasında dikişsiz veya kaynaklı oluklu paslanmaz çelikten imal edilmiş ve uzunluğu en az 305 mm (12 inç) olan esnek bir bağlantı kullanılmasını zorunlu tutar. Ayrıca egzoz borusunun ve susturucunun, bu esnek bağlantıya herhangi bir yük bindirmeyecek şekilde motordan bağımsız olarak desteklenmesi istenir. EN 17451 ise benzer şekilde uygun bir susturucu kullanılmasını ve boru hattının üretici tavsiyelerine göre desteklenmesini beklemekle birlikte, NFPA kadar spesifik bir esnek bağlantı ölçüsü tanımlamamıştır.

4.6. Yakıt Tankı

EN 17451 ve EN 12845 standartları, tank kapasitesini binanın tehlike sınıfına göre kademelendirerek Hafif Tehlike (LH) için 3 saat, Orta Tehlike (OH) için 4 saat ve Yüksek Tehlike (HHP/HHS) için 6 saat tam yükte çalışma süresi öngörür. EN 12845-2 (ESFR sistemleri) uyarınca, bu sistemler için minimum yakıt tankı kapasitesi, gereken çalışma süresinin en az 4 katı olmalıdır.
NFPA20 ise, tehlike sınıfı ayrımı yapmaksızın tüm ana yangın pompaları için yakıt tankının en az 12 saat motor çalışma süresini karşılayacak kapasitede olmasını şart koşar. Bu hesaplama dizel motor üreticisinin verdiği yakıt tüketimi verilerine göre yapılır ve hacme %5 genleşme payı ve %5 çökme payı eklenmelidir Dizel motorun yakıt tüketimi bilinmiyorsa her beygir gücü (hp) başına 1 galon (5,07 L/kW) kapasite baz alınır.

Malzeme ve yapı seçiminde EN 17451, yakıt tankının mutlaka kaynaklı çelikten imal edilmesini şart koşarken, NFPA 20 malzeme bilgisi vermeyip daha kapsamlı bir çerçeve çizerek tankların UL 142 gibi mühendislik standartlarına uygun tek veya çift cidarlı olabileceğini belirtir. Tek cidarlı olması durumunda yakıt tankı etrafına havuz yapılmasını ister.

Her iki standart grubu da tankların yerleşimi konusunda paralel bir yaklaşım sergileyerek; tankın motorun yakıt pompasına pozitif basınç sağlayacak bir seviyede olmasını, ancak doğrudan motor üzerine yerleştirilmemesini esas alır.

Borulama ve tesisat detaylarında standartlar arasında belirgin teknik ayrışmalar mevcuttur. EN 17451, yakıt hattında çelik hortumlar ve metal borular isterken ek yerlerinde lehim kullanılmasını yasaklar. NFPA 20 ise yakıt sisteminde galvanizli çelik veya bakır boru kullanımına izin vermez; bunun yerine siyah çelik boru veya motor bağlantısı için 30 dakika yangına dayanıklı özel esnek hortumların kullanılmasını şart koşar. Siyah çelik boru kullanılıyorsa, bağlantı elemanları çelik veya dökme demir olmalıdır. Son olarak, her iki standart da yakıt vanalarının tanka yakın ve kilitli olmasını beklerken, NFPA 20 havalandırma hattının çapının dolum hattından küçük olmamasını ve bina açıklıklarından uzakta, zeminden en az 3,7 m yukarıda sonlanması gibi spesifik montaj kriterlerini sistem güvenliğinin bir parçası olarak tanımlar.

4.7. VANA VE AKSESUARLAR

Pompalarda güvenliği ve performansı sağlamak amacıyla her iki standartta benzer amaca hizmet eden ama uygulamada farklılıklar gösteren aksesuarların kullanılmasını ister.

Pompanın kapalı vana durumunda çalışırken aşırı ısınmasını önlemek için alınan tedbirlerde temel bir felsefe farkı mevcuttur. EN 12845, sistemin hidrolik hesabına dahil edilen ve çıkışı açıkça görülebilen bir "sürekli akış" düzeneği isterken; NFPA 20, elektrikli motor sürücülü pompalar için otomatik "sirkülasyon rahatlatma vanası" kullanımını zorunlu kılar. Eğer dizel motorda soğutma suyu pompanın basma hattından alınıyorsa, NFPA'de bu vananın kullanımına gerek yoktur.
EN standartları, pompanın kendi yapısı gereği havayı tahliye edemediği durumlarda gövde üzerindeki tüm boşlukların havalandırılmasını bekler. NFPA ise otomatik kontrollü, şamandıralı bir otomatik hava tahliye vanası (min 12,7 mm) kullanılmasını şart koşar.

4.8. POMPA EMİŞ HATTI

Her iki standart da pompa girişinde düzgün bir akış sağlamak amacıyla benzer kurallar koyar. EN 12845, pompa emişinin en az iki çap uzunluğunda düz bir boru veya bir redüksiyon ile bağlanmasını şart koşarken; bu redüksiyonun maksimum açısının 20° olmasını ve hava ceplerini önlemek için üst tarafının yatay (eksantrik) olmasını bekler. NFPA 20 de paralel bir yaklaşımla, emiş borusu ile pompa flanşı farklı boyutlardaysa hava ceplerini engellemek için mutlaka eksantrik redüksiyon kullanılmasını ve borunun düz tarafının üstte olmasını zorunlu tutar. Ayrıca NFPA, yatay ayrılabilir gövdeli (split-case) pompalarda, giriş flanşı ile ilk dirsek veya te arasındaki mesafenin boru çapının 10 katından az olması durumunda, bu bağlantıların pompa miline paralel olmasını yasaklar; bu kural türbülansın çark üzerindeki dengesiz yüklerini önlemeye yöneliktir.

Standartlar arasındaki en keskin ayrım su hızı ve basınç kriterlerinde görülür. EN 12845, pozitif emiş koşullarında boru çapının en az 65 mm olmasını ve maksimum debide su hızının 1,8 m/s'yi geçmemesini şart koşarken; negatif emiş durumunda çapı en az 80 mm'ye çıkarıp hızı 1,5 m/s ile sınırlandırarak daha muhafazakar bir boyutlandırma talep eder. Buna karşılık NFPA 20, çok daha yüksek akış hızlarına olanak tanır; emiş borusu boyutları anma kapasitesinin %150'sinde genellikle 4,6 m/s (15 ft/sn) hız limitine göre belirlenir.

Birden fazla pompanın bulunduğu kurulumlarda EN 12845, pozitif emişli sistemlerde emiş borularının ancak her pompanın bakım için izole edilmesini sağlayacak kesme vanaları varsa birbirine bağlanmasına izin verir. Negatif emişli sistemlerde ise emiş borularının birbirine bağlanmasını kesin olarak yasaklar. NFPA 20 ise tek bir emiş borusunun birden fazla pompayı beslediği durumlarda, her pompanın orantılı su alabilmesi

için emiş kolektörü düzenlemesinin dengeli olmasını ister. Ayrıca NFPA, emiş hattında mutlaka OS&Y (yükselen milli) sürgülü vana kullanılmasını şart koşarken, emiş hattında pompanın durmasına veya debinin kısıtlanmasına neden olabilecek hiçbir cihazın bulunmasına izin vermez. EN ise kullanılacak kesme vanasının tipi hakkında bilgi vermez.

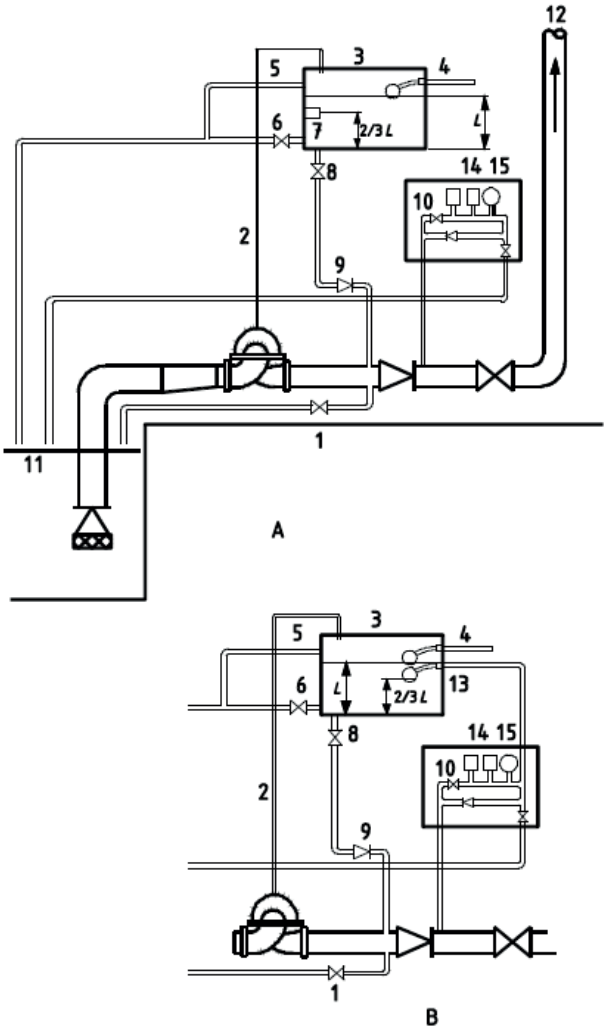
4.8.1. POMPA EMİŞ KOŞULLARI

Hem EN 12845 hem de NFPA 20 standartları, pompaların her zaman suya tam erişimini sağlamak için pozitif emiş düzenlemesini öncelikli olarak tercih eder.

EN 12845, pozitif emiş koşulunu sağlamak için çok somut iki kriter belirlemiştir: Su deposunun etkin kapasitesinin en az üçte ikisi pompa eksen seviyesinin üzerinde olmalı ve pompa ekseni, deponun düşük su seviyesinden en fazla 2 metre yukarıda bulunmalıdır. Eğer bu şartlar sağlanamıyorsa sistem "negatif emiş" olarak sınıflandırılır. NFPA 20 ise benzer bir felsefeyle, suyun atmosferik bir kaynaktan pompa giriş flanşına, anma kapasitesinin %150'sinde dahi basınç atmosferik değerin altına düşmeden akmasını "basınçlı emiş" olarak tanımlar. NFPA 20'de santrifüj pompaların statik negatif emiş durumunda kullanılmasına olarak izin verilmez. Bu uygulamalarda dik türbin tip pompaların kullanılmasını ister.

EN 12845 pozitif emiş koşullarının sağlanamadığı durumlarda, negatif emiş koşullarına belirli kısıtlamalar altında izin verirken, bu durumun mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini vurgular. Deponun düşük su seviyesi ile pompa ekseni arasındaki yükseklik farkı 3,2 metreyi aşmamalıdır. Ayrıca hidrolik güvenliği sağlamak için emiş borusu çapı en az 80 mm olmalı ve su hızı maksimum debide 1,5 m/s ile sınırlandırılmalıdır. EN normlarının en önemli şartı ise her bir pompa seti için zorunlu olan otomatik doldurma (priming) tankı düzeneğidir; bu tankın kapasitesi orta ve yüksek tehlike sınıfları için en az 500 litre, hafif tehlikede 100 litre olmalı ve emiş hattını sürekli suyla dolu tutmalıdır.

Otomatik doldurma sistemi için pompanın emiş hattının sürekli suyla dolu kalmasını sağlayacak pompadan daha yüksek seviyeye yerleştirilen bir besleme tankı kullanılmalı ve tank ile pompanın basma hattı arasındaki eğimli bağlantıya bir çek valf monte edilmelidir. Şekil 4'te iki örnek gösterilmektedir. Örnek A'da alçak seviye şalteri, Örnek B'de ise pompanın çalıştırılması için alçak seviye valfi bulunmaktadır. Sistem, taban vanasında oluşabilecek sızıntılarda dahi pompa ve emiş hattının suyla dolu kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Tanktaki su seviyesi normal seviyenin üçte ikisinin altına düştüğünde pompa otomatik olarak çalıştırılmalı; alternatif olarak, sürekli gözetim altında bulunan bir noktaya acil müdahale gerektiren bir alarm gönderilmelidir.



1. Test tahliye hattı ve vanası
2. Pompa hava tahliye ve minimum debi hattı
3. Pompa emiş suyu (priming) tankı
4. Su girişi
5. Taşma hattı
6. Tahliye vanası
7. Pompa çalıştırma için düşük seviye şalteri
8. Emiş suyu (priming) besleme kesme vanası
9. Emiş suyu (priming) besleme çek valfi
10. Pompa grubunun çalıştırma düzeni
11. Emiş tankı
12. Tesisat ana kolonu (ana boru hattı)
13. Pompa grubunun çalıştırılması için düşük seviye vanası
14. Pompa grubunun çalıştırılması için basınç şalterleri
15. Basınç göstergesi (manometre)

Şekil 4 - Otomatik doldurma (priming) tankı düzeneği

4.9. POMPA BASMA HATTI

Her iki standart da temel bir güvenlik önlemi olarak her pompanın basma hattında mutlaka bir çek valf ve bir kesme vanası bulunmasını şart koşar. Ancak NFPA 20, koç darbesini önlemek amacıyla basma hattındaki izlenebilir vanaların 5 saniyeden daha kısa sürede kapanmamasını beklerken, EN 12845 vana kapatma sürelerinden ziyade basma hattındaki genişleme parçalarının akış yönünde genişlemesine ve açısının 20°'yi geçmemesine odaklanır.

Hidrolik boyutlandırma kriterlerinde standartlar arasında belirgin bir hız farkı mevcuttur. EN 12845 standartlarında su hızı; vanalar ve akış izleme cihazları üzerinden geçerken 6 m/s, boru hattının diğer noktalarında ise 10 m/s değerine kadar çıkabilir. Buna karşılık NFPA 20, çok daha muhafazakar bir yaklaşım sergileyerek pompa %150 kapasitede çalışırken dahi basma borusundaki su hızının 6,1 m/s değerini aşmamasını talep eder. Boru çapı seçimi için de NFPA 20, pompa anma debisine göre minimum ölçüleri belirleyen spesifik tablolar sunmaktadır.

5. TESLİM, MONTAJ VE DEVREYE ALMA

5.1. Dokümantasyon

Sistemin teslim aşamasında NFPA 20, yapı sahibine çizimlerin, test raporlarının, kullanım kılavuzlarının ve önerilen yedek parça ile yağlayıcı listelerinin bir set halinde sunulmasını zorunlu kılar. EN 17451 ise teslimat aşamasında dokümantasyonun ötesinde, fiziksel bir ön hazırlığa vurgu yaparak asgari yedek parça sağlanmasını şart koşar. Bu kapsamda dizel setler için enjektör memeleri, yağ/hava/yakıt filtreleri ve silindir kapak contaları; tüm pompalar için ise mil keçeleri ve gövde contalarının teslimatta hazır bulunması istenir. Ayrıca EN standartları, pompa odasının tasarımına yardımcı olacak teknik verilerin (yanma havası ihtiyacı, ısı yayılımı vb.) üretici dokümantasyonunda açıkça yer almasını bekler.

5.2. Performans Testi

Her iki standartta her bir pompanın, sevkiyat öncesinde şartnamelere uygunluğunu kanıtlamak için fabrika testine tabi tutulmasını ve üretici tarafından alıcıya pompanın basma yüksekliği-debi (H-Q) ve güç değerlerini içeren onaylı fabrika test eğrileri sunulmalıdır. Hidrolik karakteristik eğrinin fabrikadaki doğrulanmasında da ölçüm noktaları farklılaşır. NFPA 20, pompanın karakteristik eğrisinin kapalı vana, %100 ve %150 debi noktalarında netleşmesini beklerken; TS EN 17451, kapalı vana, maksimum akış talebi, %100 akış noktası ve bu akışın %140 katı değerlerinde veri toplanmasını şart koşar. Ayrıca EN normlarına göre, performansın sahada onaylanmasından önce fabrikanın; dizel setler için en az 1,5 saat, elektrikli setler için ise en az 0,5 saat anma debisinde kesintisiz çalışma testini gerçekleştirmesi ve bu süre sonunda yatak ile yağlama yağı sıcaklık artışlarını raporlaması esastır.

5.3. Devreye Alma

NFPA20'de hem dizel hem de elektrikli pompa setlerinin en az 6 otomatik ve 6 manuel başlatma denemesinden başarıyla geçmesi zorunludur. Sürücü bazlı farklılaşmada elektrikli pompaların her bir başlatma denemesi sonrası en az 5 dakika tam hızda çalışması beklenirken; dizel motorlarda, ardışık marş denemelerinin toplam süresi 45 saniyeye ulaşana kadar bu 5 dakikalık bekleme süresi şart koşulmaz. TS EN 17451 standardında ise devreye alma süreci, performansın uzun süreli doğrulanmasına ve kurulum detaylarının mekanik kontrolüne ağırlık verir. Dizel setler için en kritik kabul adımı, yakıtın fiziksel olarak kısıtlanmasıyla yapılan 6 marş denemesi ve bu denemeler sonunda "başlatma hatası" alarmının üretildiğinin doğrulanmasıdır.

NFPA 20, tüm saha kabul testlerinin toplamda en az 1 saat sürmesini yeterli görürken, her iki sürücü tipi için de EN normlarında, tüm çıkışlar açıkken maksimum debide gerçekleştirilen 30 dakikalık kesintisiz görev testi istenir. Bu test sırasında yatak sıcaklıkları ve salmastra sızıntıları titizlikle kaydedilir.

6. BYKHY İÇİNDE YANGIN POMPALARININ ELE ALINIŞI

"Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" yangın pompalarıyla ilgili teknik gereksinimlerinde belirli bir standardı birebir kopyalamak yerine, Amerikan (NFPA 20) ve Avrupa (EN) normlarından kritik bileşenleri alan hibrit bir yapı sergilemektedir. Ancak teknik performans eğrileri ve aksesuar terminolojisi incelendiğinde, Yönetmelik'in ana mühendislik iskeletinin NFPA 20 standardına çok daha yakın olduğu görülmektedir.

Yönetmelik ile NFPA 20 arasındaki en çarpıcı benzerlik, pompanın hidrolik tanımıdır. Yönetmelik, NFPA20'de olduğu gibi, pompanın kapalı vana (sıfır debi) basıncının anma basıncının %140'ını geçmemesini ve anma debisinin %150'sindeyken basıncın en az %65 seviyesinde kalmasını şart koşar.

Yedekleme kurallarında Yönetmelik, genelleme yoluna gitmiştir. Sistemde tek pompa varsa %100 yedekli olmasını, birden fazla pompa varsa toplam kapasitenin en az %50'sinin yedeklenmesini ister. Fakat her iki standardın da bu şekilde net bir talebi yoktur. Pompa sayısı sistem kapasitesi, güvenlik gibi unsurlara göre değişebilmektedir. Fakat pompanın sistemin enerji beslemesinin güvenilirliği ve sürekliliği çok önemlidir. Dizel motor kullanılmadığı senaryolarda elektrik enerjisinin sürekliliğinin sağlanması her iki standartta ve yönetmelikte şart koşulmuştur.

Yönetmelik'te kullanılan teknik terminoloji, doğrudan NFPA 20'den alınmıştır. Örneğin, pompaların "otomatik hava boşaltma valfi" ve "sirkülasyon rahatlatma valfi" ile donatılma zorunluluğu, NFPA 20'nin temel ekipman listesiyle aynıdır. EN standartları bu düzenekleri "sürekli akış" ve genel havalandırma araçları olarak tanımlamaktadır ve uygulama noktalarında farklılıklar bulunmaktadır. Bu malzemelerle ilgili yönetmelikte genelleme yapılmasından dolayı yanlış anlaşılmalarda olmaktadır. Hem EN, hem de NFPA pompanın kendi havasını tahliye edebiliyorsa kullanılmasını şart koşmadığı "Hava boşaltma valfi" yönetmelik tarafından tüm pompa tiplerinde istenmektedir.

Pano izleme kriterlerinde de NFPA etkisi bulunmaktadır. Yönetmelik, elektrik panolarında "faz sırası hatası" izlemesini zorunlu tutar ki bu NFPA 20'nin ana elektriksel güvenlik şartlarından biridir. EN'de ise sadece "faz hatası" izlenilmesini istemektedir. Pratik uygulamada, faz hatası izleme sistemleri faz sırasını da kapsayacak şekilde tasarlanabilmektedir; fakat EN standart metni bunu genel bir "faz hatası" başlığı altında toplar. Bunun dışında her pompanın kendi kumanda panosunun bulunması ve kilitlenebilir olması her iki standardın da talep ettiği özelliklerdir.

Pompaların otomatik başlatılması için kullanılan basınç şalterleri de doğrudan NFPA20'den alınmıştır. Yönetmelik, NFPA20'de olduğu gibi her yangın pompasının (jokey pompa dahil) kendine ait bir basınç algılama mekanizmasına sahip olmasını şart koşar. Bu mekanizmanın kumanda panosu içerisinde muhafaza edilmesi, su basıncını doğrudan boru bağlantısıyla hissetmesi ve en önemlisi su darbelerine karşı korunmuş olması esastır. Ayrıca, basınç alt ve üst limitlerinin birbirinden bağımsız ayarlanabilmesi ve bu ayarların yetkisiz müdahaleyi önlemek adına kilitlenebilir yapıda olması bir zorunluluktur. EN standartları sistem güvenliğini darbe sönümleyici yerine iki adet yedekli basınç şalteri kullanarak sağlamayı tercih etmektedir.

Pompa odası sıcaklığı ise doğrudan EN standartlarından alınmıştır. Elektrik motor tahrikli pompalar için +4 °C talebi her iki standartta da yer alırken, dizel motor tahrikli pompalar için 10°C talebi sadece EN standardında bulunmaktadır. NFPA ise bu noktada dizel motor üreticilerinin tavsiyesiyle belirlenmesini söylemektedir.

7. SONUÇ

Bu şekilde bir den fazla standardın uygulanabilir olduğu alanlarda yasal mevzuatın iyi anlaşılması gerekmektedir. Yangın pompasının seçimi ile pompa dairesinin projelendirilmesinde esas alınacak ilk düzenleme, ilgili yönetmelik hükümleridir. Değerlendirme yapılırken yalnızca yönetmelik maddeleri değil, yönetmeliğin atıf yaptığı ve yangın pompalarına ilişkin teknik hükümleri içeren TS standartları da dikkate alınmalıdır. Ancak yönetmelik ile standart arasında çelişki bulunması halinde, hukuki açıdan bağlayıcı olan yönetmelik hükümleri uygulanır. Buna örnek olarak yönetmelik, pompanın anma debisinin %150›sine ulaştığında, basıncın anma basıncının %65›inden daha aşağıya düşmemesini şart koşarken, TS standardı %140 noktasında %70'in altına düşmemesini istemektedir. Böyle bir durumda uygulanması gereken hüküm yönetmelikte belirtilen şarttır.

Yönetmelikte herhangi bir düzenleme bulunmayan teknik konularda ise TS standardı esas alınır. Dizel tahrikli yangın pompalarının yakıt tankı kapasitesi buna örnek gösterilebilir. Yönetmelikte bu konuda özel bir şart yer almazken, TS EN 17451'in 4.4 maddesi yakıt deposunun motoru belirli süreler boyunca kesintisiz çalıştırabilecek kapasitede olmasını zorunlu kılar. Buna göre düşük tehlike sınıfı için en az 3 saat, orta tehlike sınıfı için 4 saat ve yüksek tehlike sınıfı için ise 6 saatlik çalışma süresini karşılayacak büyüklükte yakıt deposu talep ederken, ESFR olması durumunda bunların 4 katını istemektedir.

İncelenen konu hakkında ne yönetmelikte ne de TS standardında bir düzenleme bulunmuyorsa, bu durumda ilgili diğer ulusal veya uluslararası standartlar ile teknik düzenlemelere başvurulması uygun olacaktır.

8. KAYNAKLAR

[1] TS EN 17451, "Sabit yangın söndürme sistemleri - Otomatik püskürtme (fiskiye) sistemleri - Pompa takımlarının tasarımı, montajı, kurulumu ve hizmete alınması", 2025
[2] NFPA20, "Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection", 2025 Edition
[3] TS EN 12845+A2, "Sabit yangın söndürme sistemleri - Otomatik sprinkler sistemleri - Tasarım, kurulum ve bakım", 2026
[4] TS EN 12259-12, "Sabit yangın söndürme sistemleri - Yağmurlama ve su püskürtme sistemleri için bileşenler - Bölüm 12: Pompalar", 2023

9. KISA ÖZGEÇMİŞ

Zülfü Serdar KINIK
1989 yılında Diyarbakır'da doğmuştur. Ortaöğrenimini Antalya Metin Nuran Çakallıklı Lisesinde'nde tamamlamıştır. Makine Mühendisliği lisans ve İşletme Yönetimi (MBA) yüksek lisans eğitimine sahip, uluslararası satış, ürün yönetimi ve iş geliştirme alanlarında 10 yılı aşkın deneyime sahip bir mühendistir. Kariyeri boyunca pompa ve endüstriyel ekipman sektöründe faaliyet göstererek Avrupa, Orta Doğu, Afrika ve Orta Asya pazarlarında satış stratejileri, distribütör yönetimi, teknik pazarlama ve müşteri geliştirme süreçlerini başarıyla yönetmiştir. Yangın pompa sistemleri konusunda uzmanlaşmıştır. ETNA'da Yangın Pompaları Ürün Müdürü olarak görev yapmakta; ürün yönetimi, uluslararası standartlara uygun ürün geliştirme, teknik eğitimler ve satış destek faaliyetlerini yürütmektedir.

SPRİNKLER SİSTEMLERİNDE ENGEL KAYNAKLI KORUMA ZAFİYETLERİ VE ENGEL ALTI SPRİNKLER YERLEŞİM KURALLARI

Tülin ERDOĞAN

ÖZET

Otomatik sprinkler sistemleri yangın güvenliğinin en etkili aktif koruma yöntemlerinden biridir. Sprinkler sistemlerinin yangını kontrol altına alma başarısı, suyun yangın bölgesine zamanında ve yeterli miktarda ulaşmasına bağlıdır. Ancak yapı elemanları, mekanik tesisat bileşenleri, kablo tavaları, havalandırma kanalları ve benzeri mimari veya teknik elemanlar sprinkler su dağılım formunu engelleyerek sistem performansını olumsuz etkileyebilmektedir.
NFPA 13 standardında sprinkler engelleri temel olarak iki ana açıdan ele alınmaktadır. Bunlardan ilki sprinkler su dağılım formunun gelişimini bozan engeller, ikincisi ise sprinkler suyunun korunacak tehlikeye ulaşmasını önleyen engellerdir. Bu genel prensiplere ek olarak, farklı sprinkler tipleri için engellere ilişkin özel yerleşim kriterleri tanımlanmıştır.
Bu çalışmada sprinkler sistemlerinde engel kavramı NFPA 13 (2025) standardı kapsamında incelenmiş, özellikle standart sprey sprinkler ve ESFR sprinkler sistemleri için belirlenen engel kriterleri değerlendirilmiştir. Bu kriterlerin görsel olarak açıklanmasında FM Global Data Sheet 2-0'da yer alan bazı görsellerden de yararlanılmıştır. Sprinkler su dağılım formunun gelişimi, engellerin sınıflandırılması ve engeller altında ilave sprinkler kullanımına ilişkin tasarım kriterleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca uygulamada sık karşılaşılan tasarım hataları değerlendirilmiş ve engellerden kaçınarak doğru sprinkler yerleşimi için tasarım önerileri sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Sprinkler sistemleri, Sprinkler engelleri, ESFR sprinkler, yangın koruma sistemleri, NFPA 13, FM Data Sheets 2-0

PROTECTION DEFICIENCIES CAUSED BY OBSTRUCTIONS IN SPRINKLER SYSTEMS AND INSTALLATION REQUIREMENTS FOR SPRINKLERS BENEATH OBSTRUCTIONS

ABSTRACT

Automatic sprinkler systems are among the most effective active fire protection methods. The effectiveness of sprinkler systems in controlling a fire depends on the timely and adequate delivery of water to the fire area. However, structural members, mechanical service components, cable trays, ventilation ducts, and similar architectural or technical elements may obstruct the sprinkler water discharge pattern, thereby reducing system performance.
NFPA 13 classifies sprinkler obstructions into two main categories. The first consists of obstructions that interfere with the development of the sprinkler discharge pattern, while the second includes obstructions that prevent sprinkler water from reaching the hazard being protected. In addition to these general principles, the standard also defines specific obstruction criteria for different sprinkler types.
This study examines the concept of sprinkler obstructions in accordance with NFPA 13 (2025), with particular emphasis on the obstruction criteria applicable to standard spray and ESFR sprinkler systems. Selected illustrations from FM Global Data Sheet 2-0 are also used to visually support the discussion of these criteria. The development of the sprinkler discharge pattern, the classification of obstructions, and the design criteria for the installation of additional sprinklers beneath obstructions are discussed in detail. Furt-

hermore, common design deficiencies encountered in practice are evaluated, and design recommendations are presented for achieving proper sprinkler placement while minimizing the effects of obstructions.

Keywords: Sprinkler systems, Sprinkler obstructions, ESFR sprinklers, Fire protection systems, NFPA 13, FM Data Sheets 2-0,

1. GİRİŞ

Otomatik sprinkler sistemleri, yangının erken aşamada kontrol altına alınmasını sağlayan en etkin aktif yangın söndürme yöntemlerinden biridir. Bu sistemlerin başarısı yalnızca hidrolik hesapların doğruluğuna değil, aynı zamanda sprinkler başlıklarından çıkan suyun korunması hedeflenen tehlikeye fiziksel olarak ulaşabilmesine bağlıdır.

Sprinkler tasarım sürecinde doğru zamanda aktivasyonun sağlanabilmesi için sprinklerlerin termal eleman seçimi yapılır ve tavandan olan mesafeleri belirlenir. Suyun doğru yoğunlukta ulaştırılabilmesi amacıyla ise sprinkler orifis çapı (K değeri), gerekli basınç ve debi değerleri belirlenir; buna bağlı olarak pompa kapasitesi ve boru çapları seçilir. Bu aşamaların tamamı doğru şekilde sağlandığında, sprinkler doğru zamanda aktive olur ve sprinkler çıkışında yeterli yoğunlukta su elde edilir.

Bu noktaya kadar gerçekleştirilen tasarım süreci, yangına müdahale için gerekli potansiyelin oluşturulmasını ifade eder. Bu potansiyelin gerçek bir söndürme performansına dönüşebilmesi ise, sprinkler ucunda mevcut olan bu suyun tehlikeye etkin şekilde ulaşabilmesine bağlıdır.

Bu nedenle sprinkler sistemlerinde asıl kritik aşama, suyun yalnızca üretilmesi değil, aynı zamanda doğru şekilde yönlendirilerek tehlikeye ulaştırılmasıdır. Bu aşamada belirleyici olan temel unsur ise engellerdir. Sprinkler sistemlerinde performansı doğrudan belirleyen en kritik unsurlardan biri engellerdir; çünkü engeller, suyun tehlikeye ulaşmasını sınırlayan veya tamamen engelleyebilen fiziksel bariyerler oluşturmaktadır.

Engeller, sprinkler performansını iki temel mekanizma üzerinden etkiler. Birinci etki, su dağılım formunun gelişimine engel olunmasıdır. Bu durumda sprinkler boşalımı henüz oluşum aşamasında bozulur ve su dağılım formu istenilen karakteristiğe ulaşamaz. İkinci etki ise, suyun tehlikeye ulaşmasına engel olunmasıdır. Bu durumda su dağılım formu oluşmuş olsa dahi, suyun tehlike bölgesine ulaşması engellenir ve koruma altında olması gereken alanlarda yetersiz su dağılımı meydana gelir.

Uygulamada ise engel değerlendirmesinin çoğu zaman yalnızca belirli mesafe ve ölçü kriterleri üzerinden, bütüncül bir analiz yapılmadan ele alındığı görülmektedir. Bu durum, özellikle karmaşık tavan geometrilerine sahip yapılarda, yüksek raflı depolarda ve yoğun mekanik tesisat içeren hacimlerde sistem performansının beklenen seviyenin altında kalmasına neden olmaktadır. Sahada en sık göz ardı edilen hususlardan biri, sprinkler ucunda mevcut olan yeterli suyun tehlikeye ulaşmasını engelleyen bu unsurların doğru şekilde değerlendirilmemesidir.

Bu çalışmada, sprinkler sistemlerinde engeller fonksiyonel bir yaklaşımla ele alınmakta ve iki ana başlık altında incelenmektedir:

- Su dağılım formunu bozan engeller,
- Suyun tehlikeye ulaşmasını önleyen engeller.

Bu sınıflandırma üzerinden hem standart sprinkler sistemleri hem de ESFR sprinkler sistemleri için engel etkisi ve tasarım yaklaşımı ayrı ayrı değerlendirilecektir. Ayrıca, hangi durumlarda ilave sprinkler gereksinimi doğduğu bu ayrım temelinde incelenecek; ilave sprinklerlerin yerleşim ve konumlandırma esasları,

engel tipi ve sprinkler karakteristiğine bağlı olarak ayrıntılı şekilde ele alınacaktır.

Çalışmanın son bölümünde ise, özellikle tavanda bulunan kiriş, makas ve benzeri yapısal elemanlar gibi doğal engellerin tasarım üzerindeki etkisi incelenecek ve bu engellerden kaçınmak veya etkilerini azaltmak için uygulanabilecek tasarım yaklaşımları tartışılacaktır.

2. SPRİNKLER SİSTEMLERİNDE ENGELLERİN SINIFLANDIRILMASI

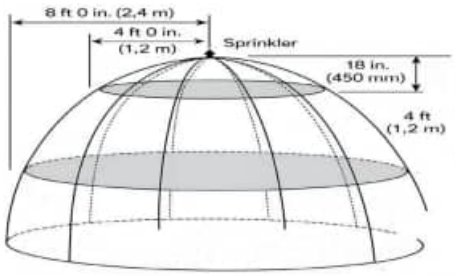
Sprinkler sistemlerinde engellerin değerlendirilmesi çoğu zaman geometrik ölçüler ve mesafe kriterleri üzerinden yapılmaktadır. Ancak bu yaklaşım, engelin sprinkler performansı üzerindeki gerçek etkisini tam olarak ortaya koymak için yeterli değildir. Aynı geometrik özelliklere sahip iki farklı engel, sprinkler performansını tamamen farklı mekanizmalar üzerinden etkileyebilir.

Bu nedenle engellerin değerlendirilmesinde esas alınması gereken yaklaşım, engelin sprinkler performansını hangi mekanizma üzerinden etkilediğinin belirlenmesidir. Bu çalışmada engeller, bu etki mekanizmasına bağlı olarak iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır:

- Su dağılım formunu bozan engeller
- Suyun tehlikeye ulaşmasını önleyen engeller

Bu ayrım, hem tasarım kararlarının doğru verilmesini sağlamakta hem de ilave sprinkler gereksiniminin doğru yorumlanmasına imkân tanımaktadır.

2.1. Su Dağılım Formunu Bozan Engeller



Şekil 1 - Su dağılım formunun gelişim bölgesi ve engel etkisi

Su dağılım formunu bozan engeller, sprinklerden çıkan suyun karakteristik dağılım formunun henüz oluşum aşamasında bozulmasına neden olan engellerdir. Bu etki, sprinkler deflektöründen itibaren başlayan ve yaklaşık 450 mm (18 in.) mesafe içerisinde tanımlanan kritik bölgede meydana gelir.

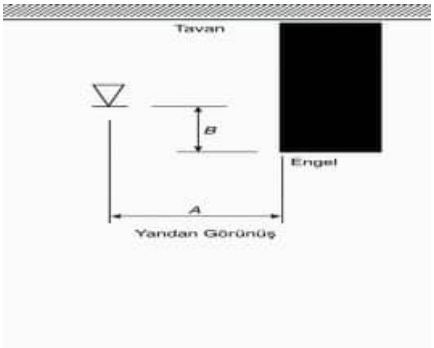
Bu bölge, su dağılım formunun gelişiminin gerçekleştiği alan olup, bu hacim içerisinde yer alan engeller suyun simetrik ve öngörülen dağılımını bozarak sprinkler performansını doğrudan etkiler. Bu kapsamda, sürekli veya süreksiz nitelikteki engellerin varlığı, su dağılım formunun gelişimini kesintiye uğratarak koruma etkinliğini azaltır.

Bu tür engellere örnek olarak; kirişler, hava kanalları, aydınlatma armatürleri, makas ve açık kafes kiriş elemanları ile belirli çap ve konumda yer alan boru hatları verilebilir.

2.1.1. Standart Sprinklerler Yaklaşımı

2.1.1.1. Deflektör seviyesinde veya üzerinde bulunan engeller için yerleşim kuralları

Engelin üst seviyesinin sprinkler deflektörü ile aynı seviyede veya üzerinde olduğu durumlarda, sprinklerden çıkan suyun engelin altına yönlenmesi doğrudan engellenir ve su dağılım formu bozulur. Bu nedenle sprinkler yerleşimi, doğrudan tanımlanmış mesafe ve konum kriterlerine göre belirlenmelidir.



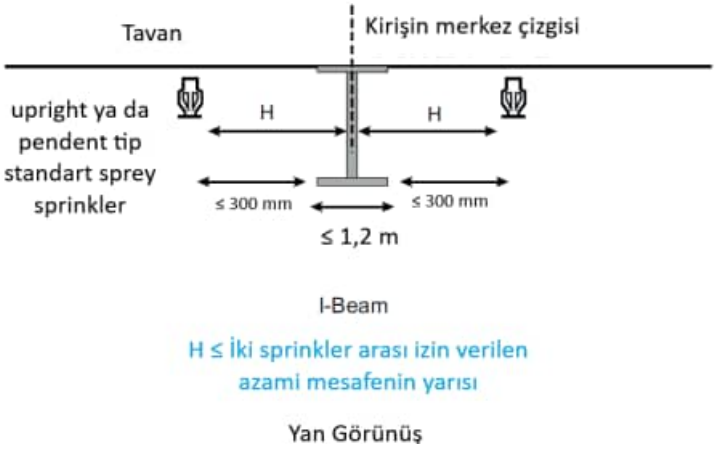
Şekil 2 - Engelden kaçınmak için sprinkler konumlandırması

Engellerden Kaçınacak Şekilde Sprinklerlerin Konumlandırılması (Standart Upright/ Standart Pendent)	
Engelin Kenarından Mesafe (A) (mm)	**Deflektör ile Engelin Altı Arasında İzin Verilen Mesafe (B) (mm)**
300'den az	0
300 ve üzeri	65 ve daha az
450 ve üzeri	90 ve daha az
600 ve üzeri	140 ve daha az
750 ve üzeri	190 ve daha az
900 ve üzeri	240 ve daha az
1100 ve üzeri	300 ve daha az
1200 ve üzeri	350 ve daha az
1400 ve üzeri	420 ve daha az
1500 ve üzeri	450 ve daha az
1700 ve üzeri	510 ve daha az
1800 ve üzeri	600 ve daha az
2000 ve üzeri	750 ve daha az
2100 ve üzeri	875 ve daha az

Bu durumda sprinkler yerleşimi, iki temel parametre üzerinden değerlendirilir:
A mesafesi: Sprinkler ile engelin yatay mesafesi
B mesafesi: Deflektörün engelin altına göre düşey konumu
A ve B arasındaki ilişki, suyun engelin altına yönlendirilmesini sağlayacak şekilde tanımlanmıştır. Sprinkler, suyun engelin yüzeyine çarparak dağılacağı değil, engelin altına geçeceği bir konumda yerleştirilmelidir. Örneğin, sprinklerin kirişten düşey mesafesinin 75 mm (B) olduğu durumda sprinkler kirişe en az 450 mm (A) mesafede konumlandırılabilir. Engel sprinklerden düşey konumda uzaklaştıkça yatay olarak da uzaklaşmalıdır.

Bununla birlikte, aşağıdaki durumların sağlanması halinde, yukarıda verilen A–B mesafe kriterlerinin uygulanması zorunlu değildir:

- Genişliği 1,2 m'yi aşmayan engellerde, sprinklerlerin engelin karşılıklı iki tarafına yerleştirilmesine izin verilir. Bu durumda, engelin merkez hattı ile sprinklerler arasındaki mesafe, izin verilen maksimum sprinkler aralığının yarısını aşmamalıdır.



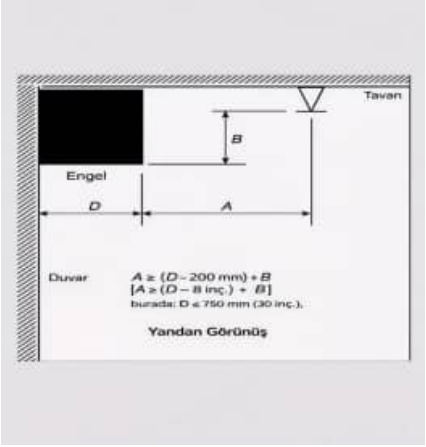
Şekil 3 – 1,2 m'den küçük engellerde sprinkler yerleşimi (FM Global Data Sheet 2-0'dan uyarlanmıştır.)

- Engel altına ilave sprinkler yerleştirilmesi durumunda, A–B mesafe kriterlerinin sağlanması gerekmez.

Engelli tavan niteliği taşıyan yapılarda zaten bu durumların yaşanmaması için belirli kurallar dahilinde, sprinklerlerin engellerden daha aşağı bir kota inebilmesi amacıyla tavandan azami mesafe kurallarında kolaylıklar getirilmektedir. Ancak, kiriş derinliği çok yüksek olduğunda veya tavan yapısı engelli tavan kriterlerini sağlamadığında sprinklerin tavandan mesafesi arttırılamıyor. Bu durumlarda da yukarıdaki mesafe kurallarına uyularak sprinkler yerleşimi güncellenir.

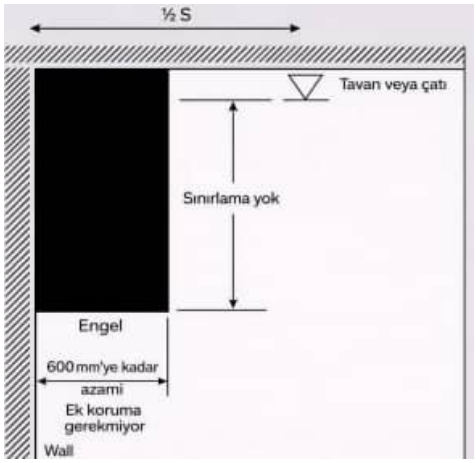
Duvara Bitişik Engeller:

a. Duvara bitişik konumda bulunan ve 75 cm genişliği aşmayan engellerin deflektörden düşey mesafesi (B) ile engelin eniyle (D) toplamı deflektörün yatay uzaklığının (A) 20 cm fazlasını geçmeyecek şekilde yerleştirilebilir.



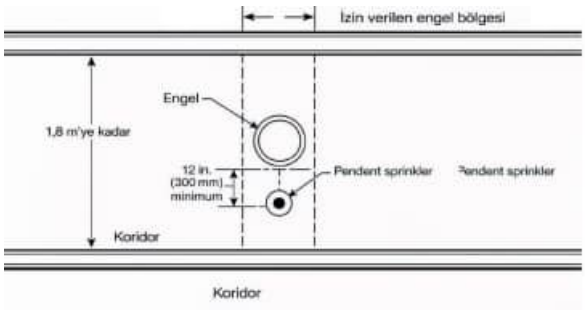
Şekil 4- Duvara yakın 75 cm'den küçük engellerden kaçınmak için sprinkler yerleşimi

b. Sprinklerin duvardan maksimum mesafe kuralına uygun yerleştirildiği bir durumda, duvara bitişik konumda bulunan ve 60 cm genişliği aşmayan engeller bulunabilir. Yalnız sprinkler ile duvar arasındaki mesafe alınırken, engelin ön yüzüne göre değil, engelin arkasındaki duvara göre ölçülmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 5 - Duvara yakın 60cm'den küçük engellerden kaçınmak için sprinkler yerleşimi

Koridorda Dikey Engeller:



Şekil 6 - Koridorda bulunan dikey engellere göre sprinkler yerleşimi

Genişliği en fazla 30 cm olan dikey engellerin, genişliği 1,8 metreye kadar olan koridorlarda bulunmasına; sprinklerin izin verilen engel bölgesi içerisinde yer alması ve engelin en yakın kenarının sprinkler merkezine en az 30 cm mesafede olması şartıyla izin verilir.

2.1.1.2. Deflektör seviyesinin altında kalan engeller için yerleşim kuralları

Sprinkler deflektörünün altında yer alan engeller, su dağılım formunun gelişim bölgesi içerisinde bulunmaları durumunda, sprinklerden çıkan suyun karakteristik dağılımını bozarak performansı doğrudan etkiler. Bu etki, özellikle deflektör altındaki yaklaşık 450 mm (18 in.) içerisinde yer alan engeller için kritik hale gelmektedir.

Bu bölge içerisinde bulunan sürekli veya süreksiz engeller, su dağılım formunun tam olarak oluşmasını engelleyerek suyun belirli yönlerde yoğunlaşmasına veya bazı bölgelerde yetersiz kalmasına neden olur. Bu durum, korunan alan içerisinde homojen olmayan bir su dağılımına yol açar.

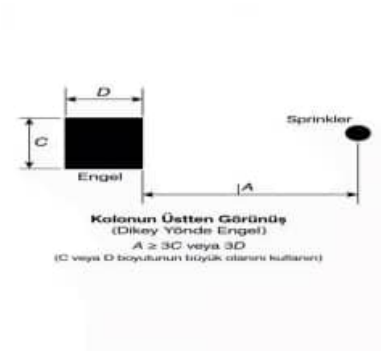
Bu kapsamda, sprinkler yerleşimi belirlenirken engelin konumu, boyutu ve sürekliliği birlikte değerlendirilmelidir. Özellikle yapısal elemanlar, makas ve açık kafes kirişler, boru hatları ve benzeri elemanlar, su dağılım formunu bozabilecek kritik engeller olarak dikkate alınmalıdır.

Bu tür engellerin varlığında, sprinklerlerin engelden yeterli mesafede konumlandırılması veya uygun yer-

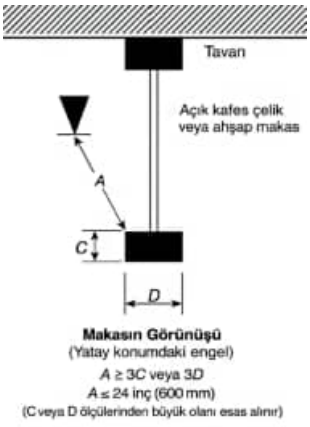
leşim kurallarına göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Engelin suyun geçişine izin verip vermemesi, sprinkler yerleşim yaklaşımını belirleyen temel faktörlerden biridir.

2.1.1.2.1. Üç kat kuralı (Three times rule):

Sprinklerler, engellerden en az engelin maksimum boyutunun üç katı mesafede konumlandırılmalıdır. Bu kural; yapısal elemanlar, borular, kolonlar ve benzeri sürekli veya süreksiz engeller için geçerlidir. Sprinkler ile engelin en yakın kenarı arasındaki yatay mesafe, engelin en büyük yatay boyutunun en az üç katı ise, söz konusu engel sprinkler su dağılım formunu bozucu bir engel olarak değerlendirilmez.



Şekil 7 - Üç kat kuralı - dikey engel



Şekil 8 - Üç kat kuralı - yatay engel

Üç kat kuralının temel amacı, sprinklerden çıkan suyun engelin her iki tarafına ulaşabilmesini sağlamak ve engel arkasında oluşabilecek gölgelenmiş bölgeleri sınırlamaktır.

Engelin en yakın noktası ile sprinkler deflektörü arasında (A), engelin büyük olan boyutunun (engel dairesel olduğunda çapın) 3 katı mesafe sağlanmalıdır. Yatay engellerde bu mesafe (A) en çok 60 cm olmalıdır.

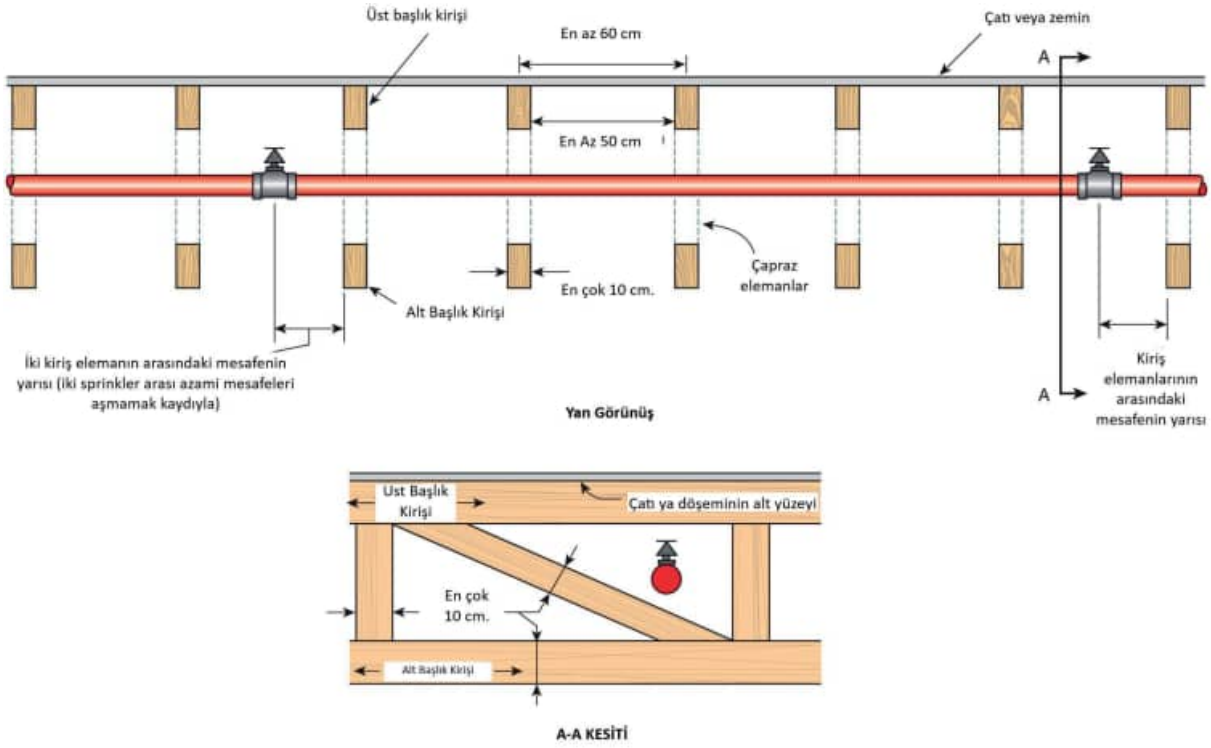
Küçük ve süreksiz engellerde, sprinkler suyu engelin hem üzerinden hem de altından geçerek iki tarafa ulaşabilir.

Açık kafes kiriş (joist) veya makas alt başlığı gibi elemanlarda da suyun engelin her iki tarafına ulaşması mümkün olduğundan, üç kat kuralı etkin şekilde uygulanabilir.

2.1.1.2.2. Açık kafes kiriş (joist/truss) sistemlerinde sprinkler yerleşimi:

Açık kafes kiriş sistemlerinde, taşıyıcı elemanların çok sayıda ve birbirine yakın konumlanması nedeniyle sprinklerlerin tüm engellerden yeterli mesafede konumlandırılması çoğu durumda mümkün değildir. Bu nedenle standartlar, bu tür sistemler için özel yerleşim yaklaşımlarına izin vermektedir.

Açık kafes kiriş elemanları arasındaki mesafenin yeterli olduğu durumlarda, sprinklerler bu elemanlar arasında konumlandırılabilir.



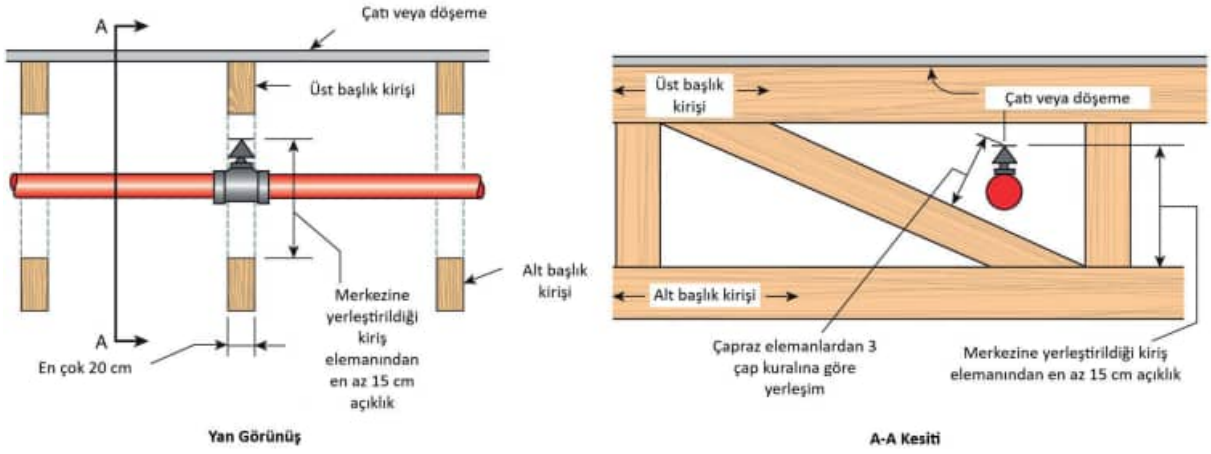
Şekil 9 - Açık kafes kiriş sprinkler yerleşimi - 1

Bu yerleşimin uygulanabilmesi için:

- Kafes kiriş elemanları arası mesafe merkezden en az 60 cm olmalıdır.
- Eleman genişlikleri 10 cm'yi (nominal) geçmemelidir.

Bu koşullar altında sprinklerler, iki eleman arasındaki boşluğun ortasına yerleştirilerek suyun elemanlar arasından geçerek tehlikeye ulaşması sağlanır.

Belirli koşulların sağlanması halinde, sprinklerler açık kafes kiriş alt başlığı, bar joist veya kiriş ekseni üzerine doğrudan yerleştirilebilir.



Şekil 10 - Açık kafes kiriş sprinkler yerleşimi - 2

Bu yerleşimin uygulanabilmesi için:

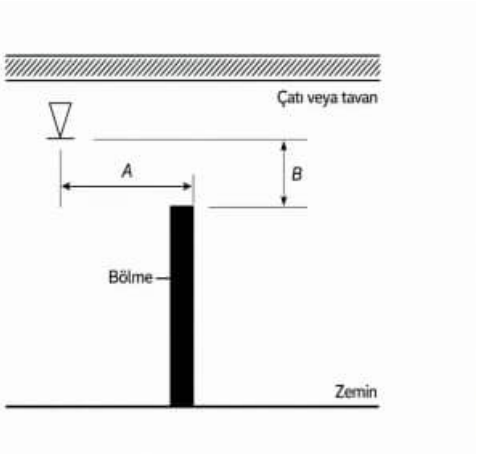
- Taşıyıcı eleman boyutu 200 mm'yi geçmemelidir.
- Sprinkler deflektörü, taşıyıcı elemanın en az 150 mm üzerinde olmalıdır. (3 kat kuralı aranmaz.)

- Kafes sistemde yer alan diğer düşey ve diyagonal elemanlar için 3 kat kuralı geçerlidir.

Bu koşullar altında, alt başlık veya kiriş elemanı su dağılımını kritik düzeyde bozmaz ve sprinkler doğrudan bu eleman ekseni üzerinde konumlandırılabilir.

2.1.1.2.3. Askılı veya zemine oturan dikey engeller:

Düşük Tehlikeli Alanlarda Askılı veya Zemine Oturan Dikey Engellere Yaklaşma Sınırı	
Yatay Mesafe A (mm)	Deflektör Altında Minimum Düşey Mesafe B (mm)
150 veya daha az	75 veya daha fazla
225 veya daha az	100 veya daha fazla
300 veya daha az	150 veya daha fazla
375 veya daha az	200 veya daha fazla
450 veya daha az	240 veya daha fazla
600 veya daha az	315 veya daha fazla
750 veya daha az	390 veya daha fazla
750'den fazla	450 veya daha fazla



Şekil 11 - Oda bölücü gibi dikey engellere göre sprinkler konumlandırılması

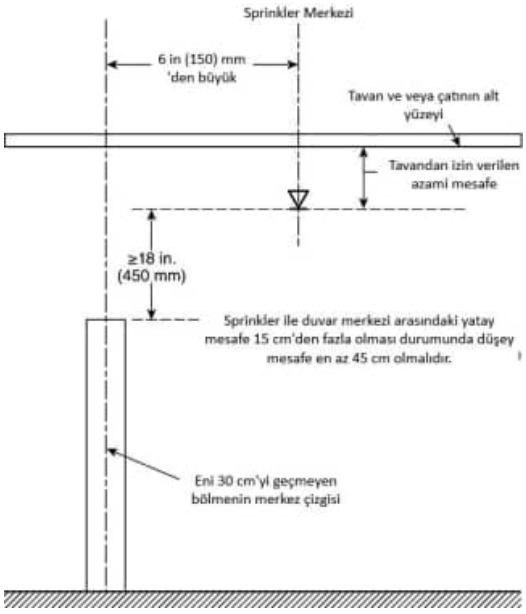
Hastane, ofis gibi düşük tehlikeli alanlarda (NFPA 13) sınıflandırması bulunan mahremiyet perdeleri, bölme duvarları (tavana kadar olmayan), oda bölücüler ve benzeri engellerde yukarıdaki tabloya göre yerleşim yapılır.

Mahremiyet perdelerinin tavan kornişine bağlı olduğu kısımdan en az 50 cm altına kadar en az %70 açıklık olacak şekilde file kumaştan imal edilmesi durumunda engel olarak kabul edilmemektedir.

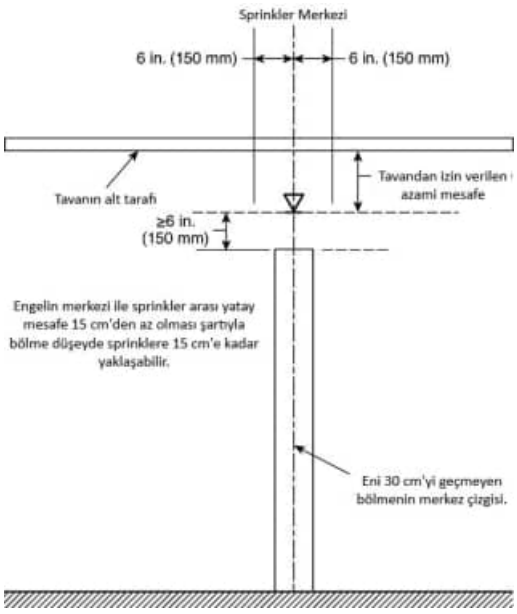


Şekil 12 - Hastane perdesi

Kumaş, iplik, çelik üretim alanları gibi orta tehlikeli alanlarda bölme duvarları, oda bölücüler vb. engellerin olması durumunda sprinklerin engelden en az 45 cm yukarıda olması gerekir. Engel eninin 30 cm'yi geçmemesi şartıyla engelin merkezinden 15 cm yatay mesafede bulunan sprinkler engelin en az 15 cm üzerinde yer alabilir.



Şekil 13- Orta tehlikeli alanlarda dikey oda bölücülerin konumlandırılması (sprinklerin yanda olması durumunda)

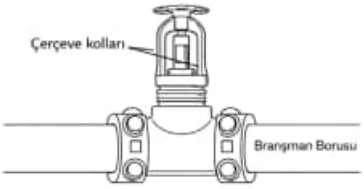


Şekil 14 - Orta tehlikeli alanlarda dikey oda bölücülerin konumlandırılması (sprinklerin engelin üzerinde olması durumunda)

2.1.1.2.4. Depolanan Malzemeler ile bırakılacak boşluk:

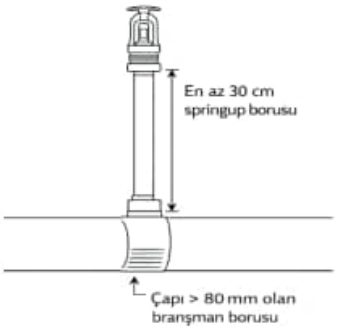
Standart sarkık ve dik tip sprey sprinklerlerde, deflektör ile depolanan malzemenin üst seviyesi arasında en az 45 cm boşluk bırakılması gerekmektedir. Bu mesafenin amacı, sprinklerden çıkan suyun dağılım formunun tam olarak gelişmesini sağlamak ve suyun depolanan malzeme veya duvar yüzeylerine çarpmadan korunan alana etkin şekilde ulaşmasına imkân vermektir. Duvara monte veya duvara dayalı raf sistemlerinde, sprinklerlerin doğrudan altında bulunmayan raflar belirli koşullarda bu düzlemin üzerine çıkabilmekte, ancak sprinklerlerin doğrudan altında kalan depolamalar bu sınırı aşamamaktadır. İstisna olarak kauçuk depolamalarında ise bu minimum boşluk mesafesi 900 mm olarak uygulanmaktadır.

2.1.1.2.5. Upright sprinklere özel engel kuralları:



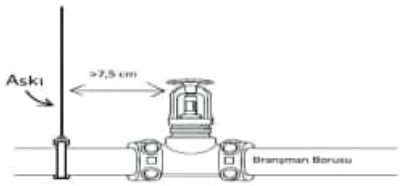
Şekil 15 - Upright sprinklerin çerçeve kollarının doğrultusu

- Upright sprinklerlerin çerçevesinin kolları branşman borusuna paralel olacak şekilde konumlandırılmalıdır.



- Sprinklerin bağlı olduğu branşman borusu 80 mm (3in.) çaptan küçük olduğunda 3 çap kuralı uygulanmaz. Daha büyük çapta bir boru olduğunda en az 30 cm spring-up borusu kullanılarak sprinkler borudan uzaklaştırılmalıdır.

Şekil 16 - Upright sprinkler çerçeve kollarının doğrultusu



- Boru askısı upright sprinklere 7,5 cm mesafeden daha fazla yaklaşmamalıdır. Askı, deprem askısı veya desteğe ait parçalardan biri 13 mm üzerinde bir boyuta sahipse 3 kat kuralı burada da geçerlidir.

Şekil 17 - Sprinkler - askı arası mesafe

2.1.2. ESFR Sprinkler Yaklaşımı

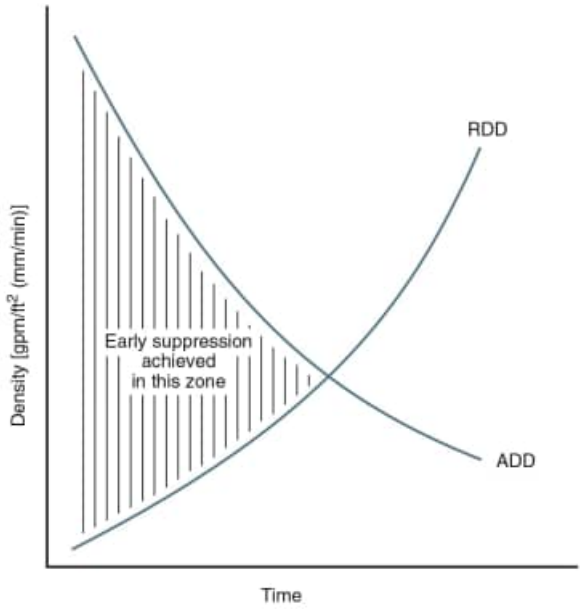
ESFR sprinkler sistemlerinde sprinkler yerleşim kriterleri, yangının erken aşamasında bastırılmasını sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Bu yaklaşımın temel amacı, sprinklerlerin yangın henüz küçük boyuttayken devreye girerek yeterli miktarda suyun doğrudan yangın kaynağına ulaşmasını sağlamaktır.

Bu nedenle ESFR sprinkler yerleşimi, yalnızca geometrik mesafeler üzerinden değil; sprinklerden akan suyun yangına gerçekten ulaşıp ulaşamayacağı dikkate alınarak belirlenir. Sprinkler konumlandırmasında temel hedef, engellerin etkisini minimize ederek suyun doğrudan yangın odağına ulaşmasını sağlamaktır.

ESFR sistemlerin performansı, üç temel parametre ile açıklanır:

- Termal hassasiyet (RTI),
- Gerekli yoğunluk (RDD – Required Delivered Density),
- Yangına ulaşan gerçek su miktarı (ADD – Actual Delivered Density).

Yangının erken bastırılabilmesi için, yangına ulaşan su miktarının (ADD), yangının bastırılması için gerekli minimum değerin (RDD) üzerinde olması gerekir. Bu durum, Şekil 18'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 18 - ESFR sprinklerlerde ADD–RDD ilişkisi ve erken bastırma bölgesi

Yangın geliştikçe, oluşan yangın plumu (fire plume) hızlanır ve yukarı yönlü akımlar kuvvetlenir. Bu durumda sprinklerden çıkan su damlacıkları:

- Buharlaşabilir,
- Yangın plumu tarafından sürüklenerek yangın bölgesinden uzaklaştırılabilir,
- Yangın yüzeyine ulaşamadan yön değiştirebilir.

Bu etkiler sonucunda, yangına ulaşan gerçek su miktarı (ADD) azalır ve belirli bir noktadan sonra ADD < RDD olacak şekilde sistem performansı yetersiz hale gelir ve bu durum, ESFR sprinklerlerin erken bastırma mekanizmasını doğrudan ortadan kaldırır.

Bu nedenle ESFR sistemlerde sprinkler yerleşimi; erken aktivasyonun sağlanması, yeterli damlacık momentumu oluşturulması ve suyun yangın plumu içerisine nüfuz ederek doğrudan tehlikeye ulaşabilmesi esasına göre belirlenir. Engellerin varlığı, bu mekanizmayı doğrudan etkilediğinden, ESFR sistemlerde daha sınırlı toleranslarla değerlendirilir ve yerleşim kriterleri bu etkiyi minimize edecek şekilde tanımlanır.

Sonuç olarak, ESFR sprinkler sistemlerinde tasarım yaklaşımı, suyun yalnızca dağıtılması değil, yangın kaynağına ulaşmasının garanti altına alınması esasına dayanır. Bu nedenle engeller, sistem performansını doğrudan belirleyen kritik bir tasarım parametresi olarak ele alınmalıdır.

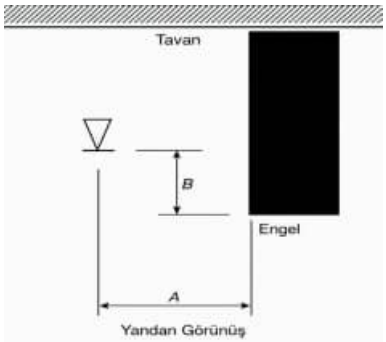
2.1.2.1. Deflektör seviyesinde veya üzerinde bulunan engeller için yerleşim kuralları

Standart sprinklerler için tanımlanan engel yerleşim kuralları, aksi belirtilmediği sürece ESFR sprinkler sistemleri için de geçerlidir.

Bununla birlikte, ESFR sprinklerlerin boşalım karakteristiği ve suyun doğrudan tehlikeye ulaştırılması esasına dayanan çalışma prensibi nedeniyle, bazı durumlarda bu kurallar farklı parametreler ile yeniden tanımlanmıştır.

Deflektör seviyesinde veya üzerinde bulunan engeller için verilen A–B mesafe ilişkisi, ESFR sprinklerlerde de geçerli olmakla birlikte, sprinkler dağılım formunun farklılığı nedeniyle bu mesafe değerleri standart sprinklerlere göre farklılık göstermektedir.

Engellerden Kaçınacak Şekilde Sprinklerlerin Konumlandırılması (ESFR Sprinklerler)	
Engelin Kenarından Mesafe (A) (mm)	**Deflektör ile Engelin Altı Arasında İzin Verilen Mesafe (B) (mm)**
300'den az	0
300 ve üzeri	40 ve daha az
450 ve üzeri	75 ve daha az
600 ve üzeri	140 ve daha az
750 ve üzeri	200 ve daha az
900 ve üzeri	250 ve daha az
1100 ve üzeri	300 ve daha az
1200 ve üzeri	375 ve daha az
1400 ve üzeri	450 ve daha az
1500 ve üzeri	550 ve daha az
1700 ve üzeri	650 ve daha az
1800 ve üzeri	775 ve daha az

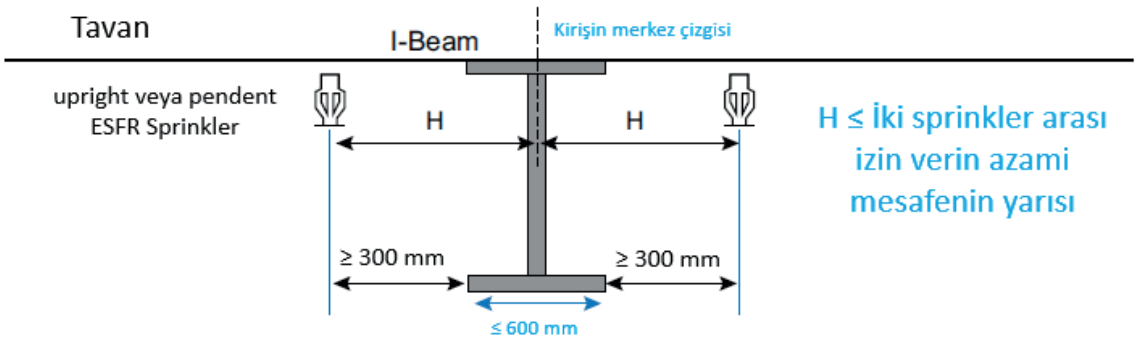


Şekil 19 - ESFR sprinklerin engelden kaçınması için konumlandırılması

Bu nedenle ESFR sprinkler yerleşiminde, genel kuralların yanı sıra ESFR sprinkler için tanımlanan özel kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Bununla birlikte, aşağıdaki durumların sağlanması halinde, yukarıda verilen A–B mesafe kriterlerinin uygulanması zorunlu değildir:

- Genişliği 600 mm'yi aşmayan engellerde, sprinklerlerin engelin karşılıklı iki tarafına yerleştirilmesine izin verilir. Bu durumda, engelin merkez hattı ile sprinklerler arasındaki mesafe, izin verilen maksimum sprinkler aralığının yarısını aşmamalıdır.



Şekil 20 - 60 cm'den küçük engellerde ESFR sprinkler yerleşimi (FM Global Data Sheet 2-0'dan uyarlanmıştır.)

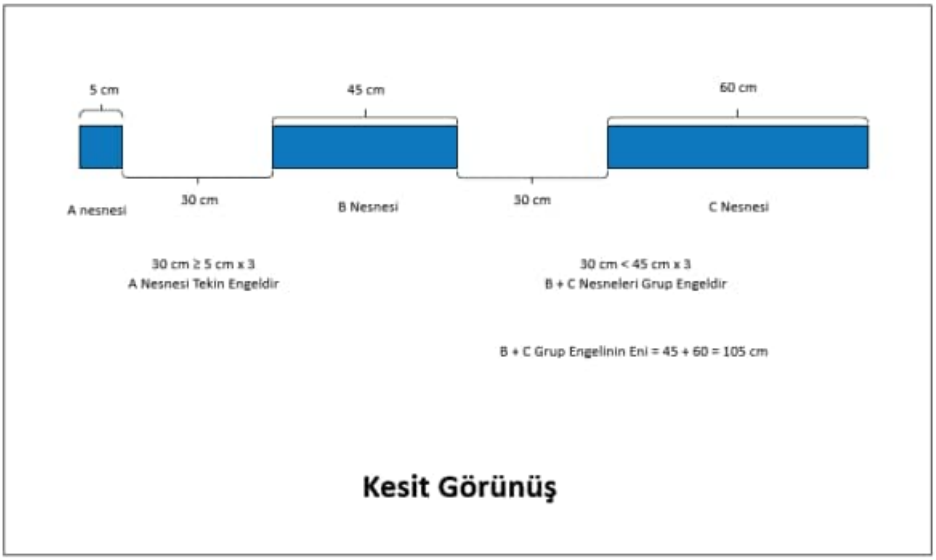
- Engel altına ilave sprinkler yerleştirilmesi durumunda, A–B mesafe kriterlerinin sağlanması aranmaz.

2.1.2.2. Deflektör seviyesinin altında kalan engeller için yerleşim kuralları

2.1.2.2.1. Deflektör altında yer alan sınırlı genişlikteki engeller

Deflektör seviyesinin altında yer alan engellerin değerlendirilmesinde temel yaklaşım, suyun engelin her iki tarafından geçerek tehlikeye ulaşabilmesinin sağlanmasıdır. Bu kapsamda, belirli boyutlardaki engellerin sprinklerlere göre yatay ve düşey konumları, tanımlanan mesafe kriterlerine uygun olmalıdır.

Birden fazla engelin yan yana yer aldığı durumlarda, bu elemanlar arasındaki mesafe, engel genişliğinin üç katından az ise engeller grup halinde değerlendirilmelidir. Bu duruma en tipik örnek boru demetleri olup, benzer şekilde bir kanal ile kablo tavasının yan yana ilerlediği durumlar da grup engel olarak kabul edilmelidir.



Şekil 21 - Grup engel (FM Global Data Sheet 2-0'dan uyarlanmıştır.)

Bununla birlikte, ESFR sprinkler altında kalan engellerin genişliğine orantılı yaklaşma mesafesi aşağıdaki sağlandığında ilave sprinkler kullanımı ihtiyacı doğmamaktadır:

ESFR Sprinkler Altında Kalan Engellerin Yaklaşma Sınırları	
Engelin Eni (cm)	Engelle Sprinkler Arasındaki Asgari Mesafe (cm)
≤ 3,8 cm	Düşey mesafe ≥ 30 cm
≤ 15 cm	Yatay mesafe ≥ 15 cm
≤ 60 cm	Yatay mesafe ≥ 30 cm

2.1.2.2.2. Depolanan Malzemeler ile bırakılacak boşluk:

ESFR sprinkler sistemlerinde, sprinkler deflektörü ile depolanan malzemenin üst seviyesi arasında en az 900 mm boşluk bırakılması gerekmektedir. Bu mesafe, ESFR sprinklerlerin söndürme prensibine dayanan çalışma karakteristiği açısından kritik olup, komşu sprinklerlerin su dağılım formunun yeterli şekilde örtüşmesini sağlar. Daha düşük boşluk mesafelerinde, sprinklerler izin verilen aralıklarla yerleştirilmiş olsa dahi, bitişik sprinkler boşalımlarının birleşmesi yetersiz kalmakta ve yangın söndürme performansı olumsuz etkilenebilmektedir. Bu nedenle yüksek depolama uygulamalarında gerekli boşluk mesafesinin korunması, ESFR sistem tasarımının temel şartlarından biridir.

2.1.2.2.3. Upright sprinklere özel engel kuralları:

- Upright sprinklerlerin çerçevesinin kolları standart sprinklerlerde olduğu gibi ESFR'da da branşman borusuna paralel olacak şekilde konumlandırılmalıdır.
- Sprinkler nominal çapı en çok 100 mm (4 in.) olan borulara doğrudan bağlanır. Bu sebeple, upright ESFR bir sprinklerin borusunun altında kalmak koşuluyla 100 mm'ye kadar olan engellerin altına sprinkler ilavesi gerekmemektedir.
- 100 mm (4 in.) nominal çapın üzerinde branşman borusu varsa, sprinklerin 300 mm düşey mesafe ya da 150 mm yatay mesafe sağlanarak bağlanması gerekmektedir.

2.2. Suyun Tehlikeye Ulaşmasını Önleyen Engeller

Deflektörden olan mesafesinden bağımsız olarak, sprinkler su dağılımının tehlikeye ulaşmasını engelleyen geniş engeller, koruma altında gölgelenmiş alanların oluşmasına neden olmaktadır. Bu tür engellerin varlığında, engel altının ilave sprinklerler ile korunması gerekmektedir.

Standart sprinkler sistemlerinde 120 cm'nin üzerinde, ESFR sprinkler sistemlerinde ise 60 cm'nin üzerinde olan engeller, suyun tehlikeye ulaşmasını engelleyen kritik sınırlar olarak kabul edilmekte olup, bu büyüklükteki engellerin altında ilave sprinkler yerleşimi yapılması gerekmektedir.

Bununla birlikte, zemine sabitlenmemiş ve yerleşimi değişken olan mobilya ve benzeri elemanlar (örneğin toplantı masaları), genişlikleri bu sınırların üzerinde olsa dahi, kalıcı bir engel teşkil etmedikleri için engel olarak değerlendirilmemektedir.

Bu bölümde tanımlanan engel etkileri doğrultusunda, suyun tehlikeye ulaşmasının engellendiği durumlarda engel altı koruma sağlanması gerekmektedir. Bu durumda çözüm, ilave sprinklerlerin uygun yerleşim kriterlerine göre konumlandırılmasıdır.

3. ENGEL ALTI SPRİNKLER YERLEŞİM KURALLARI

Engellerin sprinkler su dağılımının tehlikeye ulaşmasını engellediği durumlarda, engel altının ilave sprinklerler ile korunması gerekmektedir. Bu durumda yerleştirilecek sprinklerler, yalnızca alanı kapsamak amacıyla değil, engelin oluşturduğu gölgelenmiş bölgeyi doğrudan koruyacak şekilde konumlandırılmalıdır.

3.1. Standart sprey sprinklerlerin engel altı yerleşim kuralları

Engel altı sprinkler yerleşiminde, ilave sprinklerlerin özellikleri ve konumlandırılması belirli kriterlere göre tanımlanmıştır.
İlave sprinklerler:

- Hızlı tepkili (quick response) olmalı veya hızlı tepki veren bir termal elemana sahip olmalıdır,
- Aksi bir sebep olmadığı sürece (sıcaklık yayan bir cihaza yakın olma vs.), nominal ordinary sıcaklık derecesine sahip olmalıdır.
- Boru çapı tavandaki branşmanın çapından az olmadığı sürece yeniden hidrolik hesap yapılmasına gerek yoktur.
- İlave sprinklerlerin hidrolik ve geometrik özellikleri:
  - Tavan sprinklerleri ile aynı K faktörüne,
  - Aynı yerleşim tipine (upright/pendent),
  - Aynı kapsama karakteristiğine sahip olmalıdır.

Ancak belirli tasarım koşullarının sağlanması halinde, bu özelliklerin farklı seçilmesine de izin verilmektedir.

3.1.1. Su kalkanı (water shield) gereksinimi

Engel altına yerleştirilen sprinklerlerin, üstte çalışan sprinklerlerin boşalımından etkilenmesi durumunda, sprinklerin termal elemanının ıslanarak gecikmeli çalışmasına neden olabileceği unutulmamalıdır.

Bu nedenle aşağıdaki durumlarda ilave sprinklerlerin su kalkanı ile korunması veya eşdeğer şekilde korunması gerekmektedir:

- Düz olmayan engellerin altında,
- Katı olmayan (boşluklu/delikli) engellerin altında,
- Engelin dış sınırlarının ötesinde konumlandırıldığında,
- Açık ızgara (open grating) altında yerleştirildiğinde.

Kısacası sprinklerin doğrudan ıslanma ihtimali olan her durumda su kalkanı ile korunması gerekmektedir.

3.1.2. Isı toplayıcı (heat collector) kullanımının uygunluğu

Sprinkler aktivasyonunu hızlandırmak amacıyla sprinkler üzerine yerleştirilen ısı toplayıcı gibi elemanların kullanımı standart kapsamında kabul edilmemektedir.

Sprinkler yerleşiminde, tavana olan maksimum mesafe kriterlerinin sağlanması esastır ve bu kriterlerin, ek elemanlar kullanılarak telafi edilmesi uygun değildir.

Ayrıca, sprinkler üzerinde yer alan bu tür elemanlar, yangının doğrudan sprinkler altında olmadığı durumlarda, sıcak gaz akımlarının sprinkler elemanına ulaşmasını geciktirebilir ve bu durum sprinklerin aktivasyonunu olumsuz etkileyebilir.

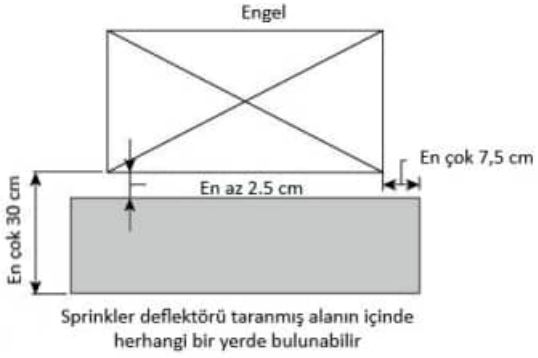
Yuvarlak kesitli veya açık ızgara altındaki sprinklerlerde, yerleşim kurallarını değiştirmek veya ısıyı yönlendirmek amacıyla bu tür elemanların kullanımı uygun değildir. Bu tür durumlarda çözüm, ilave ekipman kullanımı değil, engel tipine uygun sprinkler yerleşim kurallarının uygulanmasıdır.

3.1.3. Sprinkler konumu ve yerleşimi

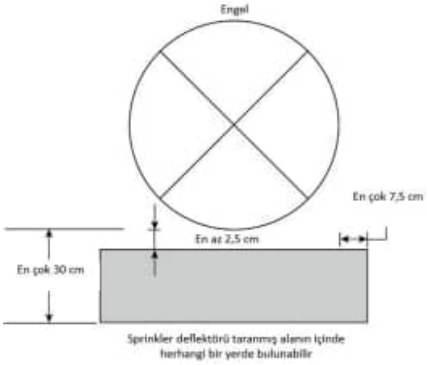
İlave sprinklerler, engelin oluşturduğu gölgelenmiş alanı doğrudan kapsayacak şekilde aşağıdaki iki temel yaklaşımdan biri ile yerleştirilmelidir:

- Engel altına yerleştirme,
- Engel kenarına yerleştirme (engel dış kenarından en fazla 75 mm mesafede).

Bu yerleşimlerde amaç, suyun engel tarafından kesintiye uğrayan bölgeye doğrudan ulaşmasını sağlamaktır.



Şekil 22 - Düz engelin altında sprinklerin konumlandırılması



Şekil 23 - Dairesel engelin altında sprinklerin konumlandırılması

3.1.4. Sprinkler aralıkları

Standart sprinklerlerde ilave sprinklerlerin yerleşiminde, aksi belirtilmediği sürece, korunan tehlike için geçerli olan engelsiz tavan yerleşim kriterleri esas alınır.

3.2. ESFR sprinkler sistemlerinde engel altı yerleşim kuralları

ESFR sprinkler sistemlerinde engel altı yerleşim, suyun doğrudan tehlikeye ulaşmasını sağlayacak şekilde, engelin geometrisine bağlı olarak tanımlanmış özel aralık kriterlerine göre belirlenir. Bu kapsamda, ilave sprinklerlerin yerleşimi yalnızca kapsama alanına göre değil, engelin tipi ve genişliği dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

3.2.1. Engel tipine göre sprinkler aralıkları

Engel altı sprinkler yerleşiminde aralık kriterleri, engelin düz (flat), katı (solid) veya boşluklu (non-solid) olmasına göre farklılık göstermektedir.

Engel Tipi	Engel Genişliği	Yerleşim Kriterleri
Düz olmayan / katı olmayan (non-flat / non-solid)	-	• Sprinklerler, engel kenarından yatayda ≤600 mm yerleştirilmelidir • Lineer aralık ≤1,2 m ***** • Alan başına kapsama ≤1,5 m²
Düz ve katı	≤ 0,6 m	Maksimum sprinkler aralığı 2,4 m *****
Düz ve katı	0,6 m – 3,0 m	Maksimum sprinkler aralığı 3,0 m
Düz ve katı	> 3,0 m	Sprinkler yerleşimi, engelsiz tavan koşulları için geçerli aralık kriterlerine göre yapılır
***** (Bu yerleşimde, raf arası sprinklerlere benzer şekilde sprinkler atlama (skipping) etkisi dikkate alınmamaktadır; çünkü sık yerleşim, yangın başlangıç noktasına en yakın sprinklerin zamanında aktivasyonunu sağlamaktadır.)		

3.3. Düz ve katı bariyer kullanımı

Belirli durumlarda, engelin altında aynı izdüşüme sahip düz ve sürekli bir yatay bariyer oluşturulması halinde, sprinkler yerleşim kriterleri engelin kendi geometrisine göre değil, oluşturulan bu yeni düz yüzeye göre değerlendirilir. Bu yaklaşım, daha düzenli bir yerleşim sağlamakta ve sprinkler sayısının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

3.4. Su kalkanı kullanımı

İlave sprinklerlerin yukarıda tanımlanan aralık kriterlerine uygun şekilde yerleştirilmesi durumunda, bu sprinklerlerin su kalkanı ile korunması zorunlu değildir.

4. TASARIM YAKLAŞIMLARI VE SAHA UYGULAMALARI

Engel kaynaklı problemler, sahada çözülmesi gereken bir uygulama sorunu olarak değil, projelendirme aşamasında ele alınması gereken bir tasarım konusu olarak değerlendirilmelidir.
Sprinkler sistemlerine ilişkin yerleşim kurallarının tasarım sürecine doğru şekilde entegre edilmesi, birçok

engel probleminin daha oluşmadan ortadan kaldırılmasını sağlar. Bu yaklaşım, ilave sprinkler ihtiyacını azaltmakta ve sistem performansının daha öngörülebilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır.
Özellikle bina taşıyıcı elemanlarına bağlı engel problemleri, tasarımın erken aşamalarında çözümlenebilir. Kiriş, makas ve benzeri yapısal elemanların sprinkler yerleşimini olumsuz etkilemeyecek şekilde değerlendirilmesi, ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek kritik yerleşim problemlerinin önüne geçmektedir.
Benzer şekilde, mekanik tesisat, kablo tavaları ve diğer teknik sistemlerin kotlarının ve güzergâhlarının belirli mesafe kriterleri dikkate alınarak projelendirilmesi, engellerden kaçınmayı önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

4.1. Sprinkler konumunun düşey yönde optimize edilmesi

Engelli tavan yapılarında, sprinkler deflektörünün tavana olan mesafesi, sprinkler tipine bağlı olarak belirli sınırlar içerisinde artırılarak kiriş altına daha yakın konumlandırılmasına izin verilmektedir. Bu tür düzenlemelerin uygulanamadığı durumlarda, her kiriş kanalı için ayrı sprinkler yerleşimi gerekebilmektedir.

Bu yaklaşım, suyun engelin altına doğrudan ulaşmasını sağlayarak ilave sprinkler gereksinimini ortadan kaldırabilecek etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak burada kritik olan husus, söz konusu tavan geometrisinin gerçekten “engelli tavan” tanımını karşılayıp karşılamadığının doğru şekilde değerlendirilmesidir. Her kirişli yapı engelli tavan olarak kabul edilmemekte olup, ilgili kriterlerin sağlanması gerekmektedir.

4.1.1. Standart Sprinkler

Engelsiz tavan uygulamalarında standart sprinklerler için deflektörün tavandan maksimum mesafesi 300 mm iken, engelli tavan koşullarında, sprinkler deflektörünün kiriş altına en fazla 150 mm mesafede kalması şartıyla bu mesafenin 550 mm’ye kadar artırılmasına izin verilmektedir.

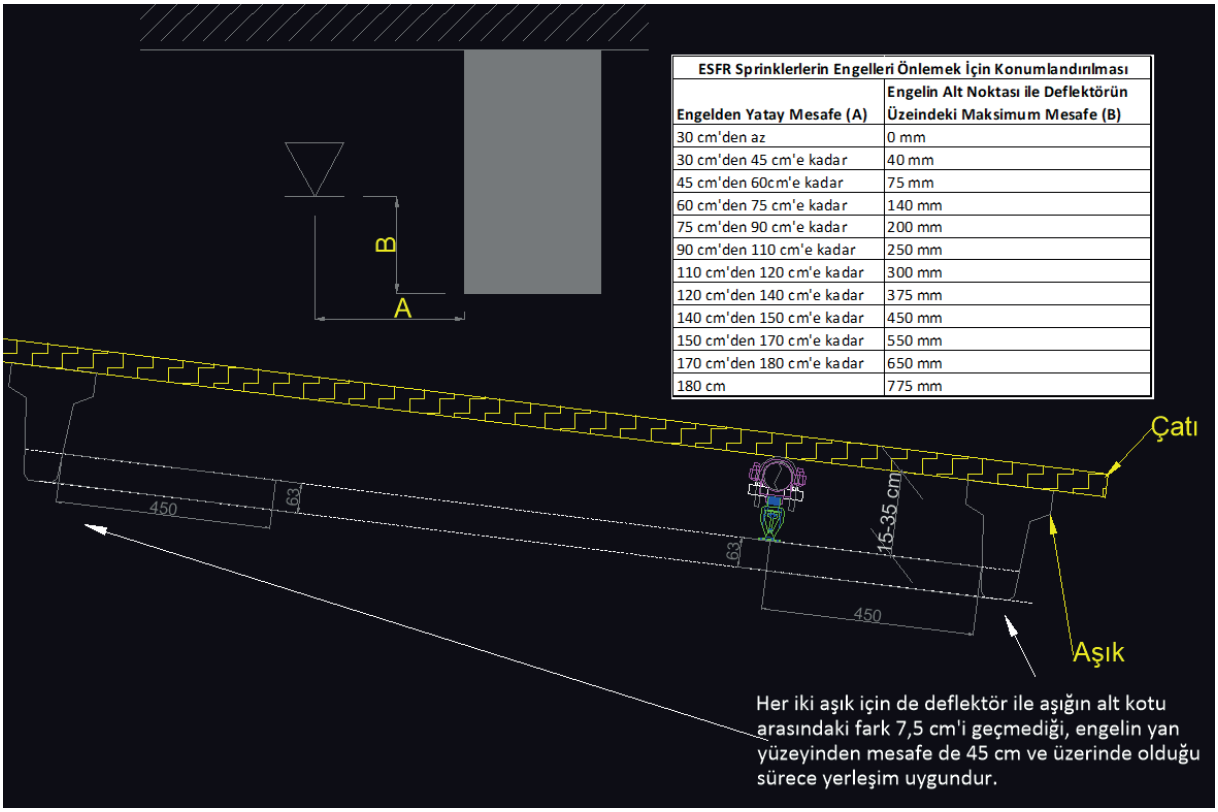
4.1.2. ESFR Sprinkler

ESFR sprinklerlerin de engelli tavanlarda tavandan azami mesafeleri aşağıdaki tablodaki şekilde arttırılmaktadır.

Tavan Eğimi	Açıklık Oranı	Kiriş Derinliği	Yerleşim Kriteri
≤ 1/12	≤ %50 açık	≤ 450 mm	Deflektör, kiriş altından ≤150 mm aşağıda olabilir
≤ 1/12	≤ %50 açık	450–600 mm	Deflektör, kanal iç hacimleri 11,3 m³’ü geçmeyecek şekilde sınırlandırılması şartıyla kiriş altından ≤150 mm aşağıda olabilir
1/12 – 2/12	≤ %50 açık	≤ 300 mm	Deflektör, kiriş altından ≤150 mm aşağıda olabilir
1/12 – 2/12	≤ %50 açık	300–600 mm	Deflektör, kanal iç hacimleri 11,3 m³’ü geçmeyecek şekilde sınırlandırılması şartıyla kiriş altından ≤150 mm aşağıda olabilir
2/12 – 4/12	≤ %50 açık	≤ 300 mm	Deflektör, kanal iç hacimleri 8,5 m³’ü geçmeyecek şekilde sınırlandırılması ve kirişlerin çatı eğimine dik olması şartıyla kiriş altından ≤150 mm aşağıda olabilir
> 1/12	> %50 açık	-	Engelsiz tavan kuralları uygulanır

4.2. Sprinkler konumunun yatay yönde optimize edilmesi

Sprinkler yerleşiminde engel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir diğer yaklaşım, sprinklerlerin yatay konumlarının özellikle A–B mesafe ilişkileri dikkate alınarak yeniden düzenlenmesidir.
Deflektör seviyesinin altında kalan engeller için, sprinkler yerleşimi A–B mesafe kriterlerine göre belirlenir ve sprinklerlerin engelden olan yatay ve düşey konumları bu ilişkiye uygun olacak şekilde düzenlenir. Bu sayede suyun engel altına yönlenmesi sağlanır.



ESFR Sprinklerlerin Engelleri Önlemek İçin Konumlandırılması	
Engelden Yatay Mesafe (A)	Engelin Alt Noktası ile Deflektörün Üzeindeki Maksimum Mesafe (B)
30 cm'den az	0 mm
30 cm'den 45 cm'e kadar	40 mm
45 cm'den 60cm'e kadar	75 mm
60 cm'den 75 cm'e kadar	140 mm
75 cm'den 90 cm'e kadar	200 mm
90 cm'den 110 cm'e kadar	250 mm
110 cm'den 120 cm'e kadar	300 mm
120 cm'den 140 cm'e kadar	375 mm
140 cm'den 150 cm'e kadar	450 mm
150 cm'den 170 cm'e kadar	550 mm
170 cm'den 180 cm'e kadar	650 mm
180 cm	775 mm

Şekil 24 - Sprinklerin kirişe (engele) göre yerleşim örneği

Makas gibi derin ve sürekli engellerde ise bu elemanlar bir duvar gibi değerlendirilir. Bu tür durumlarda, her makas arası bağımsız bir alan (ayrı bir oda) olarak kabul edilerek sprinkler yerleşimi yapılır. Çünkü bu tip engellerde A–B mesafe kriterlerinin uygulanması mümkün değildir.

5. SONUÇ

Sprinkler sistemlerinin etkinliği, yalnızca yeterli debi ve basıncın sağlanmasına değil, suyun tehlikeye kesintisiz ve doğru şekilde ulaşmasına bağlıdır. Bu doğrultuda, engellerin sprinkler performansı üzerindeki etkisi, sistem tasarımının en kritik belirleyicilerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada engeller, su dağılım formunu bozan ve suyun tehlikeye ulaşmasını önleyen etkiler açısından ele alınmış; standart sprinkler ve ESFR sprinkler sistemleri için geçerli yerleşim kuralları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca, engel altı ilave sprinkler gereksinimi, yerleşim kriterleri ve uygulamada karşılaşılan özel durumlar değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, engel problemlerinin sahada çözülmesi gereken bir uygulama sorunu olmaktan ziyade, projelendirme aşamasında doğru kararlar ile büyük ölçüde önlenebileceğini göstermektedir. Özellikle sprinkler yerleşim kurallarının tasarım sürecine entegre edilmesi, ilave sprinkler ihtiyacını azaltmakta ve sistem performansını daha öngörülebilir hale getirmektedir.

Sonuç olarak, sprinkler sistemlerinde başarı, yalnızca suyun varlığı ile değil, suyun tehlikeye ulaşabilmesi ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle, engellerin doğru değerlendirilmesi ve yerleşim kararlarının bu doğrultuda alınması, yangın güvenliğinin sağlanmasında temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

[1] NFPA, "NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems", National Fire Protection Association, 2025.
[2] NFPA, "NFPA 13 Handbook", National Fire Protection Association, 2025.
[3] FM Global, "Property Loss Prevention Data Sheet 2-0: Installation Guidelines for Automatic Sprinklers", FM Global, 2024.
[4] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., Society of Fire Protection Engineers, 2016.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Tülin ERDOĞAN

1987 yılında Almanya'nın Oldenburg şehrinde doğdu. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu.
2013 yılından bu yana yangın söndürme sistemleri alanında çalışmalarını sürdürmektedir. Meslek hayatı boyunca çok sayıda endüstriyel tesis ve özel riskli yapıda yangın koruma sistemleri projelerinde yer almıştır. Boğaziçi Yangın'ın kurucu ortağıdır. NFPA CFPS (Certified Fire Protection Specialist) sertifikasına ve Yangın Tesisatı Yetki Belgesi'ne sahiptir. Halen Sakarya Üniversitesi Yangın ve Yangın Güvenliği Tezli Yüksek Lisans Programı kapsamında akademik çalışmalarını sürdürmektedir.
Evli ve iki çocuk annesidir.

TÜRKİYE'DE YANGIN GÜVENLİĞİNDE SİSMİK KORUMA: MEVZUAT, SERTİFİKASYON VE UYGULAMALAR AÇISINDAN İNCELENMESİ

Oğuzhan Ahmet KARA

ÖZET

Deprem gerçeğiyle yaşayan ülkemizde, binaların can damarı olan yangın söndürme sistemlerinin sismik güvenliği tartışılmaz bir önceliğe sahiptir. Yönetmelikler ve uluslararası standartlar bu sistemlerin çalışması için kurallar olsa da projedeki kurgu ile sahadaki gerçeklik her zaman örtüşmemektedir.

"Yangın sistemleri depremde susarsa, yangına kim cevap verecektir? [12]. Bu hayati soru, TÜYAK kurucusu merhum Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç tarafından 2019 yılında yanıtlanmıştır: 'Yangın alınan tedbirlerle önlenir, yapılan tasarımla söndürülür' [13]."

Sismik koruma uygulamalarının perde arkasını; mevzuat gereklilikleri, kamu ihale şartnameleri ve sertifikasyon süreçleri arasındaki kopukluklar üzerinden incelemektedir. Sektörde **"güvenli"** ve **"onaylı"** kabul edilen birçok uygulamanın ve bu uygulamalara dayanak gösterilen belgelerin, aslında yangın tesisatlarının gerektirdiği spesifik performans kriterlerini [11] ne ölçüde karşıladığı sorgulanmaktadır. Proje detaylandırmalarından başlayıp saha montajına kadar uzanan zincirde tespit edilen kavramsal yanılgılar ve mühendislik zafiyetleri, sistem bütünlüğünü tehdit eden gizli bir risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sektördeki kalıpları bozmak, **"sertifikasyon"** kavramının arkasına sığınarak yapılan standart dışı uygulamalara dikkat çekmek ve karar vericileri, tasarımcıları ve denetim mekanizmalarını gerçek bir mühendislik yüzleşmesine davet etmektir.

Somut tespitler, teknik bir değerlendirmeyle kalmayıp; sismik koruma anlayışımızı ve denetim reflekslerimizi yeniden sorgulatacak, rahatsız edici bir soruyu da gündeme taşımaktadır:

Yangın güvenliğini depreme dayanıklı hale getirmeden, aslında hiçbir güvenlik önlemi tam değildir; peki, **gerçekten güvende miyiz**?

Anahtar Sözcükler: Sismik Koruma, Yangın Tesisatı, Sertifikasyon, Mevzuat, Mühendislik Etiği

SEISMIC PROTECTION IN FIRE SAFETY IN TURKEY: AN ANALYSIS OF LEGISLATION, CERTIFICATION, AND APPLICATIONS

ABSTRACT

In our country, which lives with the reality of earthquakes, the seismic safety of fire suppression systems—the lifeblood of buildings—is an indisputable priority. Although regulations and international standards

establish rules for the operation of these systems, the theoretical design in the project does not always align with the field realities.

“If fire systems fall silent during an earthquake, who will respond to the fire? [12]. This critical question was answered in its simplest form in 2019 by the late Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç, founder of TÜYAK: ‘Fire is prevented by the measures taken, but extinguished by the design made’ [13].”

This study examines the backstage of seismic protection applications through the disconnects between regulatory requirements, public procurement specifications, and certification processes. It questions the extent to which many applications deemed “safe” and “approved” in the sector, and the documentation supporting these applications, actually meet the specific performance criteria required for fire installations [11]. Conceptual fallacies and engineering vulnerabilities identified in the chain extending from project detailing to site installation emerge as a hidden risk factor threatening system integrity.

The objective is to challenge entrenched industry conventions, highlight substandard practices masked by the concept of “certification,” and invite stakeholders, designers, and audit mechanisms to a genuine engineering confrontation.

The concrete findings presented go beyond a technical evaluation; they raise an unsettling question that compels us to reconsider our current understanding of seismic protection and our auditing reflexes:

Unless fire safety is made earthquake-resilient, no security measure is truly complete; so, are we really safe?

Key words: Seismic Protection, Fire Installation, Certification, Legislation, Engineering Ethics

1. GİRİŞ

Türkiye gibi aktif fay hatları üzerinde yer alan bir ülkede, deprem sonrası ikincil felaketlerin (özellikle yangınların) önlenmesi, en az binaların yapısal bütünlüğünün korunması kadar hayatidir. Özellikle konaklama amaçlı tesislerde ve kamuya açık binalarda deprem sonrası yangınların (DSY) önlenmesi ve afet anında sistem çalışabilirliğinin korunması, can güvenliğinin temel sigortasıdır [12, 13]. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) [2] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [1] gibi ulusal mevzuatlarımız ile referans alınan NFPA 13 [3] ve EN standartları [4], yangın tesisatlarının sismik yüklere karşı dayanımını güvence altına almak için son derece net ve bağlayıcı kurallar ortaya koymaktadır. Ancak kâğıt üzerinde kusursuz görünen bu mühendislik tasarımları, uygulama ve tedarik aşamasına geçildiğinde genellikle sertifikasyon illüzyonları ve ticari manipülasyonlar arasında eriyip gitmektedir.

Günümüzde sektörümüzün karşı karşıya kaldığı en büyük tehlike, sismik korumanın hiç yapılmamasından ziyade, “standartlara uygun yapılmış gibi” gösterilerek sahte bir güvenlik hissi yaratılmasıdır. Yangın sistemleri depremde susarsa, yangına kim cevap verecektir? [12]. Bu hayati soru, Türk yangın mühendisliğinin duayeni ve TÜYAK kurucusu merhum **Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç** tarafından henüz 2019 yılında en yalın haliyle yanıtlanmıştır: *“Yangın alınan tedbirlerle önlenir, yapılan tasarımla söndürülür”* [13].

“Yangın alınan tedbirlerle önlenir, yapılan tasarımla söndürülür” ilkesini Türk yangın mühendisliği literatürüne kazandıran TÜYAK kurucusu merhum Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç, 2019 yılında yaptığı uyarılarda deprem sonrası yangın (DSY) riskinin en az sarsıntının kendisi kadar yıkıcı olduğuna dikkat çekmiştir [13]. Kılıç,

özellikle sanayi tesislerinin ve kritik yapıların yoğunlaştığı Marmara Bölgesi'nde, deprem anında yaşanacak mekanik hasarların (boru hatlarındaki kırılmalar, tesisat arızaları) tetikleyeceği yangınların kontrol altına alınmasının imkansızlığına vurgu yapmıştır. Abdurrahman Kılıç'ın 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinden verdiği örnekler; sismik korumanın bir "aksesuar" değil, sistemin hayatta kalması için bir zorunluluk olduğunu kanıtlar niteliktedir.

İhale şartnamelerine stratejik olarak yerleştirilen bölgesel onaylar (OSHPD) [10] veya yalnızca statik dayanımı ölçen test gözetim raporları (ASHRAE 171 [5] / TÜV vb.), yangın şartları altında performansı doğrulanmış (UL/FM vb.) gerçek ürün sertifikalarının yerini almaktadır [11].

Ancak gelinen noktada, Kılıç'ın bu hayati mirasını temsil eden kurumların ve sektör bileşenlerinin, kâğıt üzerindeki sertifikasyon süreçlerini bu vizyonun önüne koyup koymadığı ciddi bir tartışma konusudur. Bu bildiri, Kılıç'ın işaret ettiği "gerçek yangın güvenliği" ile günümüzdeki "belge odaklı sismik koruma" anlayışı arasındaki derin uçurumu irdelemektedir.

Bu belgelendirme karmaşası, proje detay paftalarındaki kopyala-yapıştır mühendisliği ile birleştiğinde; sismik halatların, yangın onayı bulunmayan standart ağır yük kelepçelerine bağlanması gibi sistemin çökmesine neden olacak kritik saha hatalarını sıradanlaştırmaktadır. Daha da vahim olanı, bu ölümcül hataların sektörel dergiler, ticari eğitim seminerleri ve hatta mesleki derneklerin yayımladığı el kitapları aracılığıyla adeta bir "doğru uygulama" gibi mühendislik literatürüne zerk edilmesidir.

Bu bildirinin temel amacı, yangın tesisatlarında sismik koruma adı altında yürütülen ve giderek kanıksanan bu dezenformasyon sürecini somut kanıtlarla (saha fotoğrafları, güncel şartname analizleri ve kurumlarla yapılan resmi yazışmalar) gözler önüne sermektir.

Çalışma, mevzuat ile sahadaki denetim boşluklarını irdeleyerek, sektörü «sertifika» kelimesinin arkasına gizlenen ticari inisiyatiflerle yüzleşmeye ve can güvenliğini merkeze alan tavizsiz bir mühendislik etiğine dönmeye davet etmektedir.

2. MEVZUAT, DENETİM BOŞLUĞU VE SERTİFİKASYON UYUŞMAZLIKLARI

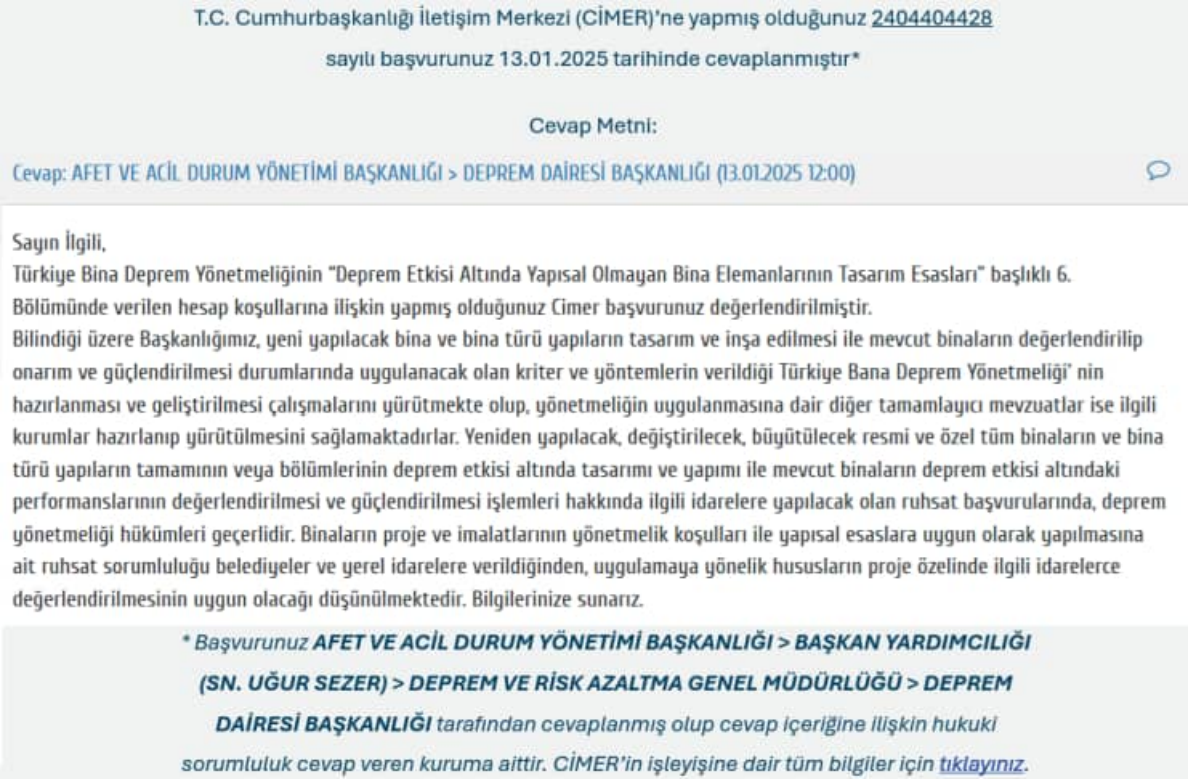
Yangın söndürme sistemlerinde sismik koruma ve halatlı askı uygulamalarının gerekliliğini doğru analiz edebilmek için, öncelikle ulusal mevzuatın çizdiği yasal çerçeveyi ve bu çerçevenin sahadaki denetim mekanizmalarında nasıl karşılık bulduğunu incelemek gerekmektedir.
Türkiye'de yapısal olmayan elemanların deprem güvenliği, ulusal mevzuatımızda açık ve net sınırlarla tanımlanmıştır. **1 Ocak 2019** tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), "Deprem Etkisi Altında Yapısal Olmayan Bina Elemanlarının Tasarım Esasları" başlıklı 6. Bölümünde, mekanik ve elektrik donanımlar ile bunların yapıya bağlantıları için deprem hesabı yapılmasını kesin bir zorunluluk olarak koşmaktadır. Buna paralel olarak, **19 Aralık 2007** tarihinde yürürlüğe giren (ve **9 Temmuz 2015** tarihinde revize edilen) Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) Madde 96'da sismik hareketlere karşı ana kolonların sürüklenmesini engellemek için dört yollu destek kullanılması, esnek bağlantılar yapılması ve boruların kırılmasını önlemek amacıyla tavanlara enlemesine ve boylamasına sabitleme (sismik askılama) elemanları ile tutturulması gerektiği hükme bağlanmıştır. **19 Ocak 2020** tarihinde yürürlüğe giren Makine Tesisatı Genel Tasarım Teknik Şartnamelerine Dair Tebliğ de bu gereklilikleri destekleyerek, yangın borulama sistemlerinde deprem sınıfına bağlı sismik önlemlerin alınmasını zorunlu tutmaktadır.

2.1. Yasal Çerçeve ve CİMER Üzerinden AFAD'ın Denetim Beyanı

1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [1], "Deprem Etkisi Altında Yapısal Olmayan Bina Elemanlarının Tasarım Esasları" başlıklı 6. Bölümünde (Madde 6.1.1) çok net bir kural koymuştur: Taşıyıcı sisteme bağlı mekanik ve elektrik donanımlar ile bunların yapıya bağlantıları için deprem hesabı yapılması kesin bir zorunluluktur [1].

Ancak bu zorunluluğun ne zaman ve nasıl denetleneceği hususunda sahada ciddi bir boşluk bulunmaktadır. Konuyla ilgili olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı'na CİMER üzerinden yapılan resmi başvurular neticesinde alınan yanıt, bu denetim boşluğunu gözler önüne sermektedir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı yanıtında şu ifadelere yer vermiştir:

"...Binaların proje ve imalatlarının yönetmelik koşulları ile yapısal esaslara uygun olarak yapılmasına ait ruhsat sorumluluğu belediyeler ve yerel idarelere verildiğinden, uygulamaya yönelik hususların proje özelinde ilgili idarelerce değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir" (Şekil 1).



T.C. Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi (CİMER)'ne yapmış olduğunuz 2404404428
sayılı başvurunuz 13.01.2025 tarihinde cevaplanmıştır*

Cevap Metni:

Cevap: AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI > DEPREM DAİRESİ BAŞKANLIĞI (13.01.2025 12:00)

Sayın İlgili,
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin "Deprem Etkisi Altında Yapısal Olmayan Bina Elemanlarının Tasarım Esasları" başlıklı 6. Bölümünde verilen hesap koşullarına ilişkin yapmış olduğunuz Cimer başvurunuz değerlendirilmiştir.
Bilindiği üzere Başkanlığımız, yeni yapılacak bina ve bina türü yapıların tasarım ve inşa edilmesi ile mevcut binaların değerlendirilip onarım ve güçlendirilmesi durumlarında uygulanacak olan kriter ve yöntemlerin verildiği Türkiye Bana Deprem Yönetmeliği' nin hazırlanması ve geliştirilmesi çalışmalarını yürütmekte olup, yönetmeliğin uygulanmasına dair diğer tamamlayıcı mevzuatlar ise ilgili kurumlar hazırlanıp yürütülmesini sağlamaktadırlar. Yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin deprem etkisi altında tasarımı ve yapımı ile mevcut binaların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi işlemleri hakkında ilgili idarelere yapılacak olan ruhsat başvurularında, deprem yönetmeliği hükümleri geçerlidir. Binaların proje ve imalatlarının yönetmelik koşulları ile yapısal esaslara uygun olarak yapılmasına ait ruhsat sorumluluğu belediyeler ve yerel idarelere verildiğinden, uygulamaya yönelik hususların proje özelinde ilgili idarelerce değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Bilgilerinize sunarız.

** Başvurunuz **AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI > BAŞKAN YARDIMCILIĞI (SN. UĞUR SEZER) > DEPREM VE RİSK AZALTMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ > DEPREM DAİRESİ BAŞKANLIĞI** tarafından cevaplanmış olup cevap içeriğine ilişkin hukuki sorumluluk cevap veren kuruma aittir. CİMER'in işleyişine dair tüm bilgiler için tıklayınız.*

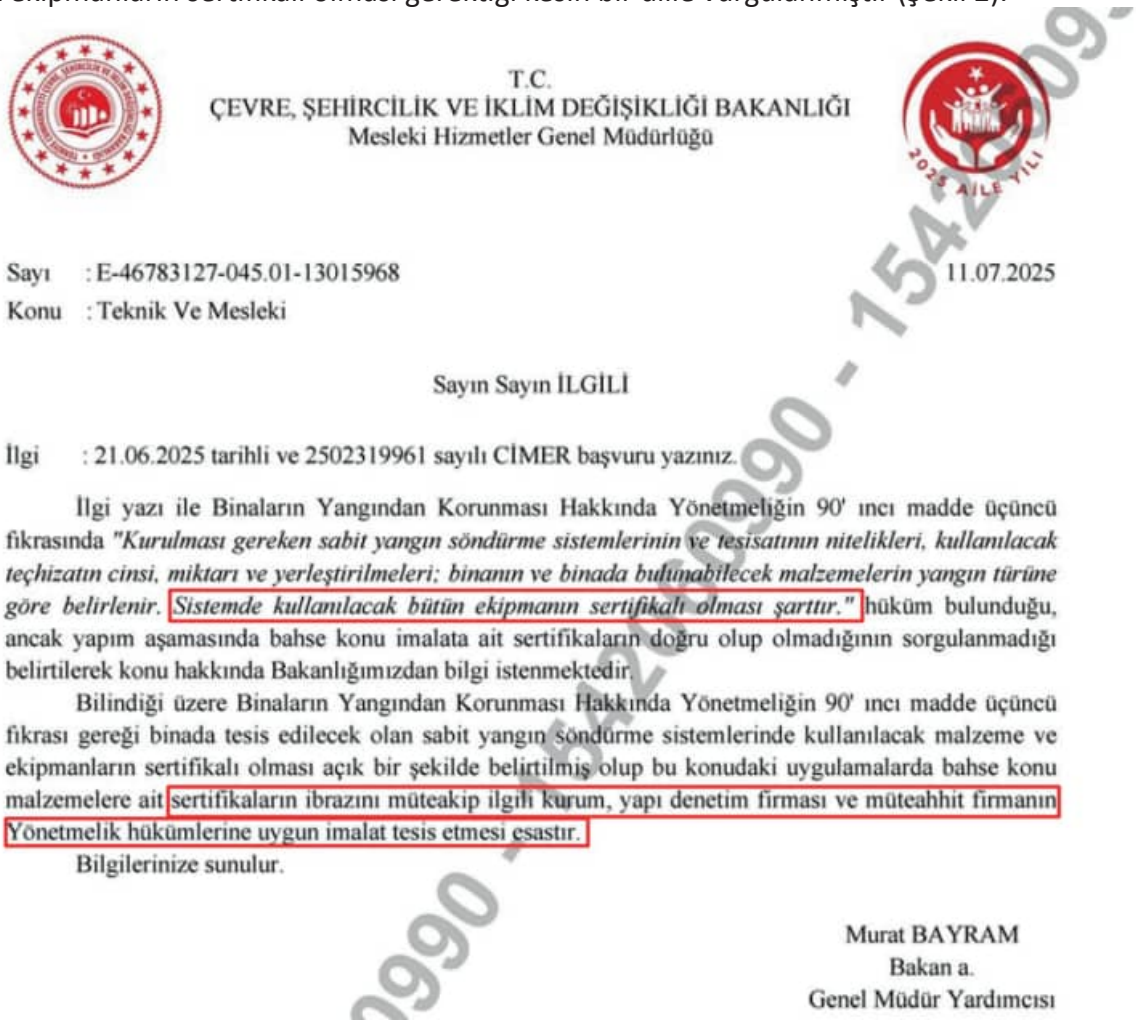
***Şekil 1** Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığından gelen resmi CİMER yanıtı*

AFAD yetkiyi belediyelere bırakmış olsa da Türkiye'deki mevcut uygulamada ruhsat aşamasındaki mekanik projelerde sismik hesaplar yok denecek kadar azdır. Sismik koruma mühendisliği ve projelendirmesi, maalesef inşaat imalatı başladıktan sonra doğrudan malzeme tedariki yapan firmaların inisiyatifine bırakılmaktadır.

2.2. Ulusal ve Uluslararası Standartlarda Sertifikasyon Zorunluluğu

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), Madde 96 6. bendi ile yağmurlama sistemlerinde sismik hareketlere karşı kolonların sürüklenmesini önleyecek ve boruların kırılmasını engelleyecek sismik askılama elemanlarının kullanımını mecburi kılmıştır [2].

Bu elemanların niteliği konusunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü'ne yapılan başvuruya istinaden CİMER üzerinden verilen resmi yanıtta, yangın tesisatlarında kullanılacak ekipmanların sertifikalı olması gerektiği kesin bir dille vurgulanmıştır (Şekil 2).



T.C.
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü

2026 AİLE YILI

Sayı : E-46783127-045.01-13015968 11.07.2025
Konu : Teknik Ve Mesleki

Sayın Sayın İLGİLİ

İlgi : 21.06.2025 tarihli ve 2502319961 sayılı CİMER başvuru yazınız.

İlgi yazı ile Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 90' ıncı madde üçüncü fıkrasında *"Kurulması gereken sabit yangın söndürme sistemlerinin ve tesisatının nitelikleri, kullanılacak teçhizatın cinsi, miktarı ve yerleştirilmeleri; binanın ve binada bulunabilecek malzemelerin yangın türüne göre belirlenir. Sistemde kullanılacak bütün ekipmanın sertifikalı olması şarttır."* hüküm bulunduğu, ancak yapım aşamasında bahse konu imalata ait sertifikaların doğru olup olmadığının sorgulanmadığı belirtilerek konu hakkında Bakanlığımızdan bilgi istenmektedir.

Bilindiği üzere Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 90' ıncı madde üçüncü fıkrası gereği binada tesis edilecek olan sabit yangın söndürme sistemlerinde kullanılacak malzeme ve ekipmanların sertifikalı olması açık bir şekilde belirtilmiş olup bu konudaki uygulamalarda bahse konu malzemelere ait sertifikaların ibrazını müteakip ilgili kurum, yapı denetim firması ve müteahhit firmanın Yönetmelik hükümlerine uygun imalat tesis etmesi esastır.

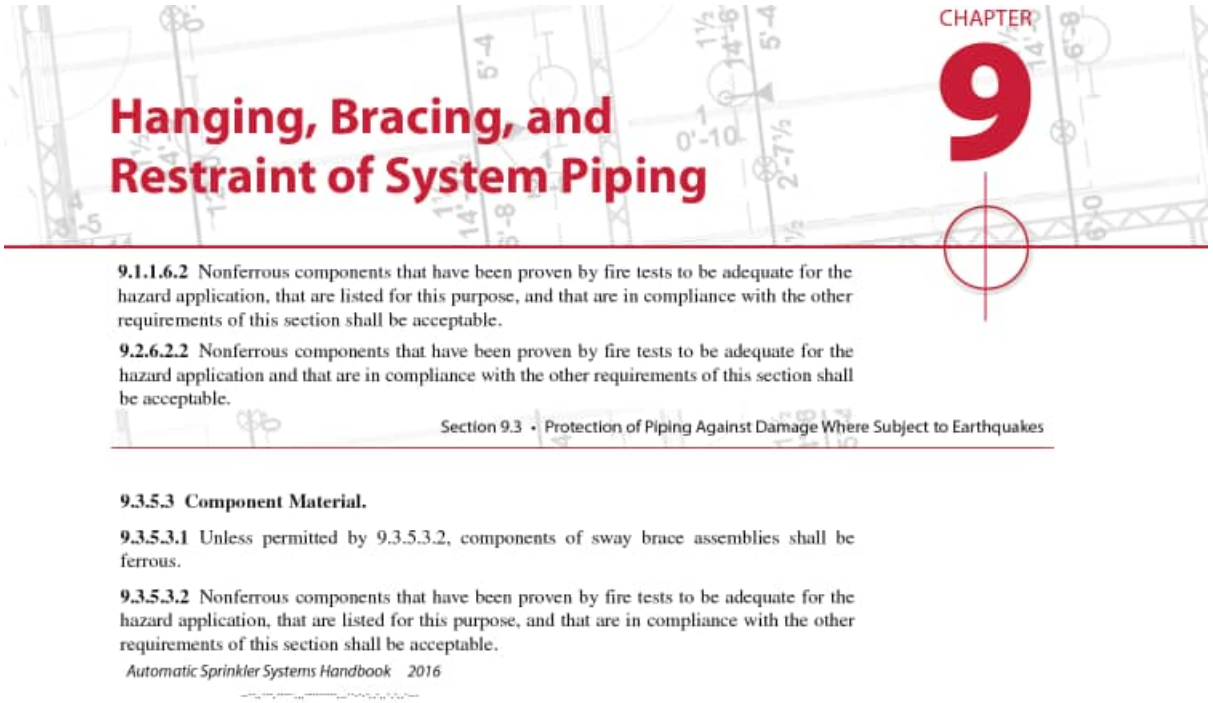
Bilgilerinize sunulur.

Murat BAYRAM
Bakan a.
Genel Müdür Yardımcısı

Şekil 2 *Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğünden gelen resmi CİMER yanıtı*

Ulusal mevzuatımızın bu açık hükmünün [2] yanı sıra, uluslararası tasarım standardı olan NFPA 13 de bu konuda hiçbir açık kapı bırakmamaktadır [3]. NFPA 13 standart maddeleri incelendiğinde; yangın tesisatlarında kullanılacak sismik halatlar gibi demir dışı bileşenlerin spesifik olarak yangın testlerinden geçirilmiş olması ve yangın şartları altında kullanılabilirliğinin onaylanmış ("Listed/Sertifikalı") olması gerektiği emredilmektedir [3] (Şekil 3).

Standartların bu ifadeleri kısaca; kullanılacak malzemenin mutlaka **"YANGINDA KULLANILABİLİR SERTİFİKASI OLMAK ZORUNDADIR"** şartını koşmaktadır.



CHAPTER 9

Hanging, Bracing, and Restraint of System Piping

9.1.1.6.2 Nonferrous components that have been proven by fire tests to be adequate for the hazard application, that are listed for this purpose, and that are in compliance with the other requirements of this section shall be acceptable.

9.2.6.2.2 Nonferrous components that have been proven by fire tests to be adequate for the hazard application and that are in compliance with the other requirements of this section shall be acceptable.

Section 9.3 • Protection of Piping Against Damage Where Subject to Earthquakes

9.3.5.3 Component Material.

9.3.5.3.1 Unless permitted by 9.3.5.3.2, components of sway brace assemblies shall be ferrous.

9.3.5.3.2 Nonferrous components that have been proven by fire tests to be adequate for the hazard application, that are listed for this purpose, and that are in compliance with the other requirements of this section shall be acceptable.

Automatic Sprinkler Systems Handbook 2016

Şekil 3 *NFPA 13 – 2016 Edition*

Bu noktada mühendislik etiği açısından kritik bir çelişki ortaya çıkmaktadır: Yangın tesisatlarında kullanılan en basit taşıyıcı olan "sprinkler kelepçesi" için bile koşulsuz şartsız UL listeli veya FM onaylı (sertifikalı) olması aranırken ve sahada onaysız kelepçe kullanılamazken [11], sistemin deprem anındaki tek güvencesi olan sismik halatlar adeta üvey evlat muamelesi görmekte ve sertifikasyon şartı esnetilmektedir. Uluslararası standartlarda doğrudan UL/FM diye bir marka/kurum yönlendirmesi olmamasına rağmen, "yangında kullanılabilir sertifikası" şartı esastır [3, 11]. Ancak ülkemizde, taşıyıcı kelepçelerde dahi sertifika aranırken [11], sistemin deprem anındaki tek güvencesi olan sismik halatların yangın dayanımı olmayan bölgesel belgelerle veya statik testlerle geçiştirilmeye çalışılması telafisi imkânsız bir zafiyettir [12].

2.3. Sektörel İtiraflar ve Standartların Çarpıtılması

Ülkemizdeki bu sertifikasyon zafiyetinin nasıl normalize edildiği, piyasada sismik halat satışı yapan ve projelere yön veren bir tedarikçi firma yetkilisinin yazılı beyanlarında açıkça görülmektedir:

"Biz ve benzeri firmalar; sertifikası olan çeşitli ürünler pazarlarken UL ya da FM sertifikası olmayan, ASHRAE normlarında testleri yapılmış ve kapasitelerini bildiğimiz ürünleri de pazarlıyoruz. Bu testleri de TÜV'ü third part olarak kullanarak yapıyoruz. [...] Amerika'da ya da gelişmiş ülkelerde de illa bir ***SERTİFİKA ZORUNLULUĞU YOK****. Sertifikalar güç katıyor fakat asıl olan dayanım testleridir. [...] İkinci sorunuz için: UL sertifikası olması elbette ürünlere güç katıyor.* ***BİZCE DE ZORUNLULUK DEĞİL****."*

İlgili firma yetkilisi, UL ya da FM sertifikası olmayan, ASHRAE normlarında testleri yapılmış ürünleri TÜV›ü üçüncü taraf olarak kullanarak pazarladıklarını, gelişmiş ülkelerde de illa bir sertifika zorunluluğu olmadığını belirtmiş ve UL sertifikasını kendilerince bir zorunluluk olarak görmediklerini ifade etmiştir. Firma yetkilisinin ***"Sertifikalar güç katıyor fakat asıl olan dayanım testleridir"*** diyerek atıfta bulunduğu ASHRAE 171 normları, yalnızca HVAC (iklimlendirme) sistemleri için uygulanan statik yük dayanım testleridir [5]. Oysa NFPA 13 standardı, ürünlerin yangın testleri ile değerlendirilmesini emreder [3]. Yangın tesisatlarında

kullanılacak bir ürün için **"bizce zorunluluk değil"** denilerek sertifikasyonun ticari inisiyatife bırakılması [11, 12], mevzuatın etrafından nasıl dolaşıldığının en net kanıtıdır.

3. MEVZUAT KAPSAMINDA SORUMLULUKLAR, ŞARTNAME MANİPÜLASYONLARI VE PROJE DETAYLARI

Yangın söndürme sistemlerinde sismik koruma donanımlarının seçimi ve uygulanması, sadece mühendislik hesaplarıyla sınırlı kalmayıp, çok ciddi yasal bağlayıcılıklar ve sorumluluklar içermektedir. Özellikle konaklama amaçlı tesisler ve kamuya açık binalar gibi yoğun insan trafiği barındıran yapılarda, yangın güvenlik sistemlerini yalnızca "yangın anı" için tasarlayıp sismik riskleri (deprem sonrası yangın- DSY) göz ardı etmek, literatürde "sessiz ama ölümcül bir eksiklik" olarak tanımlanan büyük bir mühendislik yanılgısıdır [12, 13]. Ancak sahada bu sorumlulukların göz ardı edildiği ve mevzuatın etrafından dolanıldığı görülmektedir.

3.1. İlgili Mevzuatta Görev, Yetki ve Sorumluluk Dağılımı

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) Madde 6, bu konudaki görev ve sorumlulukları net bir şekilde paylaştırmıştır [2]. İlgili maddeye göre; tasarım ve uygulamada görevli mimar/mühendisler, uygulayıcı yükleniciler, imalatçılar ve danışmanlar doğrudan sorumludur. Aktif yangın güvenlik sistemlerinin standartlara uygun olmaması veya projenin eksik/hatalı olması halinde proje müellifleri; yapımın standartlara aykırı olması durumunda ise müteahhit veya yapımcı firma doğrudan sorumlu tutulmaktadır [2].

Kamu projelerindeki sorumluluk sınırları ise Kamu İhale Sözleşmeleri Kanunu ve ilgili mevzuatla çok daha ağır yaptırımlara bağlanmıştır. Yapım işlerinde; yüklenicilerin, yapı denetim görevlilerinin, danışmanlık hizmeti sunucularının ve tedarikçilerin (Madde 30-34 arası) taahhütleri çerçevesinde kusurlu veya standartlara uygun olmayan malzeme seçmesi, kullanması veya uygulama yanlışlığı yapması durumunda ortaya çıkan zarar ve ziyandan ***on beş yıl süreyle müteselsilen (zincirleme) sorumluluğu*** bulunmaktadır [7, 8].

3.2. Kamu İhale Kanunu ve Şartnamelerdeki Sertifikasyon Manipülasyonları

Sorumlulukların bu denli ağır olmasına rağmen, proje hizmeti veren firmaların hazırladığı teknik şartnameler incelendiğinde 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu'nun temel ilkelerinin açıkça ihlal edildiği görülmektedir [8].

Kanunun 13. Maddesi gereğince, teknik şartnamelerde belirlenecek kriterlerin verimliliği sağlaması, rekabeti engelleyici hususlar içermemesi ve fırsat eşitliği sunması esastır. Kanun çok net bir şekilde; *"Belirli bir marka, model, patent, menşei, kaynak veya ürün belirtilemez"* hükmünü amirdir [8]. Ancak uluslararası standartların bulunmaması halinde "veya dengi" ifadesiyle marka/model belirtilebileceği istisnası vardır.

Buna rağmen, yangın tesisatı sismik koruma şartnamelerinde, doğrudan tek bir tedarikçiyi ve markayı işaret eden bölgesel belgelerin (örneğin sadece Amerika'nın Kaliforniya eyaletine ait olan OSHPD belgelerinin) kasti olarak istendiği görülmektedir [9, 11]. Sektör mensuplarının açık platformlarda ve eğitimlerde dile getirdiği şu itiraf niteliğindeki sözler, şartnamelerin nasıl manipüle edildiğini kanıtlamaktadır:

"Sertifika işi bıçağın öbür tarafında da çok tehlikeli. Muazzam manipülasyona yol açıyor. Adam çıkıyor projeciye gidiyor, bir şekilde projeciye 'şartnameye şu sertifika isteniyor' yazdırıyor. Sertifikanın adının açılımını söylüyorum: California Office of Statewide Health Planning and Development. Amerika'da elli tane eyalet var, Kaliforniya sadece bir tanesi..."

Bu itiraf, ulusal ve uluslararası (NFPA 13 vb.) geçerliliği olan yangın dayanım testleri yerine, belirli bir firmanın elinde bulunan ve yalnızca bölgesel bir sağlık ofisinin onayını içeren belgelerin ihale şartnamelerine nasıl "kilit şart" olarak yazdırıldığını göstermektedir. Bu bölgesel dayatmalar, afet anında sistem çalışabilirliğini tehlikeye atan ve doğrudan haksız rekabet yaratan unsurlardır [11, 13].

3.3. Uygulama Projelerinin Önceliği ve Hatalı Detay Paftaları

Sistemdeki zafiyetin en somutlaştığı yer ise projelendirme aşamasıdır. BYKHY'ye göre herkes kusuru oranında sorumlu olsa da sahada uygulayıcıyı yanlış yönlendiren asıl unsur ihale dokümanları arasındaki yasal "öncelik sıralamasıdır".

Kamu İhale Kurumu (KİK) mevzuatının temel bir parçası olan "Yapım İşlerine Ait Tip Sözleşme" hükümleri (Madde 8.2.1) incelendiğinde ihale dokümanları arasındaki öncelik sıralaması şu şekildedir:

1. Yapım İşleri Genel Şartnamesi
2. İdari Şartname
3. Sözleşme Tasarısı
4. **Uygulama Projesi**
5. Mahal Listesi
6. Özel Teknik Şartname
7. Genel Teknik Şartname

Bu sıralamaya göre, bir ihalede **"Uygulama Projesi"**, Özel ve Genel Teknik Şartnamelerden yasal olarak **daha üstündür** [9]. Yani sahada imalat yapan müteahhit veya usta, şartnamede ne yazdığından ziyade projede (AutoCAD çizimlerinde) kendisine verilen detaya uymakla yükümlüdür.

İşte sistemin kilitlendiği nokta burasıdır: Proje hizmeti veren firmalar, uygulama projelerine «Detay Paftası» eklemektedir. Ancak bu detay paftalarının büyük bir çoğunluğu, binanın sismik özelliklerine veya şartnamelere göre özel olarak hesaplanmış mühendislik çizimleri değildir. Tamamen standart, hazır şablonların kopyala-yapıştır yöntemiyle projeye eklenmesinden ibarettir.

Sonuç olarak; kopyala-yapıştır yöntemiyle oluşturulan ve çoğu zaman standartlara (NFPA 13 vb.) uymayan bu hatalı detay paftaları, Tip Sözleşme gereği "şartnamelerden üstün" kabul edildiği için sahadaki yanlış uygulamaların (örneğin yangın hatlarında onaysız ağır yük kelepçesi kullanımı gibi) bir numaralı meşrulaştırıcısı haline gelmektedir [9]. Depremde sistemlerin susmasına yol açan bu zincirleme hatalar, doğrudan doğruya kopyala-yapıştır mühendisliğinin bir sonucudur [12].

4. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT ŞARTNAME UYGULAMALARI VE BELGE ANALİZİ

Sektördeki sorumluluk karmaşasının, mevzuat açıklarının ve kopyala-yapıştır proje alışkanlıklarının şartnamelere nasıl yansıdığını somutlaştırmak adına, Türkiye'de uygulanan projelerdeki sertifikasyon talepleri mercek altına alınmıştır [11]. Bu bölümde, sahada talep edilen belgelerin gerçekte ne anlama geldiği ve yangın standartlarını (NFPA 13) karşılayıp karşılamadığı analiz edilecektir [3].

4.1. Projelerde Yer Alan Sismik Koruma Şartname Örnekleri

Mevcut durumu incelemek için iki farklı proje şartnamesi ele alınmıştır. Birinci örnek doğrudan bir kamu kurumu tarafından hazırlanan ihale dosyasına ikinci örnek ise sismik ürün satışı yapan ticari bir firmanın danışmanlık hizmeti verdiği bir kamu projesinin teknik şartnamesine aittir.

Her iki şartnamede de sismik askı setleri için birebir aynı kalıp ifadeler kullanılmıştır: *"UL, TÜV veya muadili bir standart tarafından onaylanmış, TÜV veya UL Sertifikalı" [11, 12].*

Askılama elemanları: Rijid askılama sistemlerinde FM, rijid olmayan askılama sistemlerinde UL onayı aranacaktır.

UYGULAMA

Mekanik Tesisat Kanal ve Boruları:

Aşağıda belirtilen istisnai durumlar dışında yer alan dikdörtgen yada yuvarlak hava kanalları ile tekli yada boru demeti şeklinde askılanmış tüm tesisat boruları için sismik koruma yapılacaktır.

Sismik koruma malzemesi olarak ön gerdirmeli, galvaniz kaplı ve kopma dayanımı UL, TÜV veya muadili bir standart tarafından onaylanmış çelik halatlar ile yapılacaktır.

Yangın tesisatı ve yangın anında çalışacak sistemlere için alınacak sismik tedbirlerde kullanılacak olan sismik halatların ASCE19'a göre kablo ve bağlantı elemanlarının üretici firma ile doğrudan bağlantısı olmayan ulusal olarak tanınan bir üçüncü taraf kuruluş tarafından kabul edilebilir test belgesinin olması gerekmekte ve kablonun renk kodlu olması gerekmektedir.

Kopma mukavemeti minimum 180 kgf olan, yerel ve uluslar arası bağımsız kuruluşlar gözetiminde testleri yapılıp onaylanmış, ön gerdirme ile elastikiyeti alınmış, galvaniz kaplı ve montaj kolaylığı için yüksük veya klips ile bağlamaya uygun kırmızı renk kodlu sismik halat. Tavan ve sistem bağlantısında kullanılan ve mukavemeti yerel ve uluslar arası kuruluşlar gözetiminde testleri yapılıp onaylanmış çelik esaslı malzemeden köşe parçaları ve sismik yüklere karşı yeterli çekme ve kesme dayanımlarına sahip çelik sismik dübel.

Not: Sismik uygulamanın yapılamayacağı noktalarda lokal çözümler üretilmesi sismik danışman tarafından yapılacaktır. Yapılacak olan yapısal olmayan çözümler (kullanılan malzeme ve ebatları, kullanılacak olan plaka ile dübel hesabı, kaynak hesabı) sismik danışman tarafından onaya sunulacaktır. Yangın tesisatına yapılacak çözümler NFPA13 ve FM Globale uygun olmalıdır. Diğer disiplinlerde yapılacak çözümler ASHREA, ASCE, FEMA'ya uygun olmalıdır.

***Şekil 4** 1. Örnek (Kamu İşi Şartnamesi)*

BİNASI YAPISAL OLMAYAN MEKANİK ELEMANLARIN SİSMİK KORUMA TASARIM RAPORU - 2026 ŞUBAT

Danışmanlık hizmeti veren firmanın şartnamesi

1 TASARIM ANALİZİ

1.2 TASARIM STANDARTLARI

- Hesaplamalar ve tasarım kriterleri aşağıdaki standartlara göre yapılacaktır.
- - T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik- 2007
- - Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)
- - IBC 2018 International Building Code
- - ASCE 7/16 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures- American Society of Civil Engineers
- - NFPA 13 - 2018 Edition

Not: IBC 2003 güncellemesi ile birlikte yapısal olmayan sistemler için sismik koruma uygulamaları bölümü doğrudan ASCE-7 Bölüm 13'e atıfta bulunularak verilmektedir.

2 ASILI DAĞITIM SİSTEMLERİ SİSMİK KORUMASI

İstisna kapsamları dışında kalan asılı dağıtım sistemleri sismik koruması için **OSHPD, FM, TUV** veya **UL Sertifikalı** Sismik Askı setleri ve ETA C2 onaylı Sismik Ankraj Dübelleri kullanılacaktır.

Tesisat taşıyıcı kelepçe ve bağlantılar UL veya FM sertifikalı olmalıdır. Eğer Sismik sete dahil bir kelepçe sistemi kullanılacak ise, bu kelepçelerin de sismik yükleri karşılar olduğunu gösterir UL veya FM sertifikası olmalıdır.

***Şekil 5** 2. Örnek (Danışmanlık Firması Şartnamesi)*

20. SİSMİK KORUMA VE TİTREŞİM YALITIMI

a) Genel Hükümler

Türkiye deprem yönetmeliği ve deprem haritasına göre mekanik tesisat ve elektrik tesisatı için deprem tedbirleri alınacak olup, sismik askılama ve titreşim yalıtımı şartnamesinde belirtildiği şekilde alınacak tüm tedbirler anahtar teslim götürü bedele dahil olacaktır.

Bu kısımda yer alan tüm ürünler ve yapılan mühendislik çalışmaları, projede yer alan mekanik tesisatı ve bunlara bağlı ekipmanları olası bir depreme karşı korumak, deprem sonrasında da çalışır halde işlevlerini sürdürmelerini sağlamak; projede yer alan 560 W (0,75 HP) ve üzeri güçteki tüm ekipmanların çalışma esnasında yaydıkları titreşimin ve titreşimden dolayı oluşan gürültünün binaya geçmesini önlemek için yapılacaktır.

Temin edilecek tüm ürün ve hizmetler işin tek sorumlusu olması ve projelendirme, keşif, onay, saha uygulamaları etaplarının bir bütünlük içinde yürütülmesi gerekliliği yüzünden tek bir firma tarafından tedarik edilecektir.

İlgili firma, ürün tedariği ve doğru ürün seçimi yanında projelendirme hizmetleri, saha keşifleri, uygulama etabında supervizörlük hizmetleri ve işin sonunda yapılan kontroller ile projelendirilen ürünlerin doğru noktalarda doğru şekilde uygulandığını tespit etmek için gerekli raporların hazırlanmasından sorumludur.

Projelendirme etabında yapılacak hesaplar, hesaplara göre revize proje (gerekiyorsa), hazırlanacak tüm dokümantasyonlar tedarikçi firmanın konusunda uzman mühendisleri tarafından yapılacak, imzalanacak ve İşvereninin onayına sunulacaktır.

***Şekil 6** 3. Örnek (*Proje Hizmeti Veren *Firma*nın *Şartnamesi)*

UL ve FM belgelerinin uluslararası yangın standartlarındaki karşılığı ve güvenilirliği sektördeki tüm paydaşlar tarafından bilinmektedir. Ancak asıl sorun, şartnamelere **UL/FM** ile eşdeğermiş gibi yazdırılan **"OSHPD"** ve **"TÜV"** belgelerinin içeriklerinde yatmaktadır. Bu belgelerin NFPA 13'ün emrettiği "Yangında Kullanılabi-

lir Sertifikası" şartını sağlayıp sağlamadığı aşağıda incelenmiştir.

4.2. OSHPD Belgelerinin Kapsam Analizi

Kaliforniya Eyaleti Sağlık Planlama ve Geliştirme Ofisi **(OSHPD)** tarafından verilen sismik onay belgeleri incelendiğinde, belgeler arası kapsam farklarının Türkiye pazarında nasıl manipüle edildiği ortaya çıkmaktadır[9, 11]. İki farklı **OSHPD** belgesi **(OPM-0052-14** ve **OPM-0043-14)** karşılaştırıldığında şu tabloyla karşılaşılmaktadır:


OFFICE OF STATEWIDE HEALTH PLANNING AND DEVELOPMENT
FACILITIES DEVELOPMENT DIVISION

APPLICATION FOR OSHPD PREAPPROVAL OF MANUFACTURER'S CERTIFICATION (OPM)

OSHPD Preapproval of Manufacturer's Certification (OPM)

Type: ☐ New ☒ Renewal ☐ Update to Pre-CBC 2013 OPA Number:

Manufacturer Information

Manufacturer:

Manufacturer's Technical Representative:

Mailing Address:

Telephone: Email:

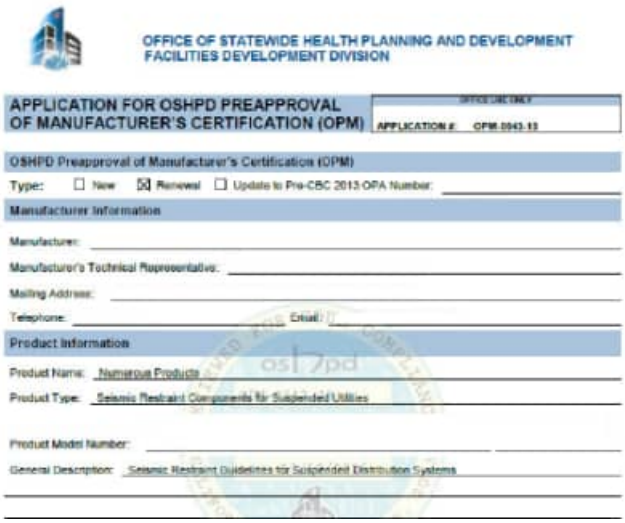
Product Information

Product Name:

Product Type:

Product Model Number:

General Description:


OFFICE OF STATEWIDE HEALTH PLANNING AND DEVELOPMENT
FACILITIES DEVELOPMENT DIVISION

APPLICATION FOR OSHPD PREAPPROVAL OF MANUFACTURER'S CERTIFICATION (OPM)

APPLICATION #: OPM-0043-14

OSHPD Preapproval of Manufacturer's Certification (OPM)

Type: ☐ New ☒ Renewal ☐ Update to Pre-CBC 2013 OPA Number:

Manufacturer Information

Manufacturer:

Manufacturer's Technical Representative:

Mailing Address:

Telephone: Email:

Product Information

Product Name: Numerous Products

Product Type: Seismic Restraint Components for Suspended Utilities

Product Model Number:

General Description: Seismic Restraint Guidelines for Suspended Distribution Systems

Şekil 7 *OPM-0052*-14

Şekil 8 *OPM-0043*-14

OPM-0052-14 Numaralı Belge (Sol): Ürünün mekanik, elektrik ve sıhhi tesisatın yanı sıra açıkça ***"Fire Protection Systems"*** (Yangın Koruma Sistemleri) için de sismik onay aldığı beyan edilmektedir [10].

OPM-0043-14 Numaralı Belge (Sağ): Genel açıklama kısmında yalnızca ***"Seismic Restraint Guidelines for Suspended Distribution Systems"*** (Asılı Dağıtım Sistemleri İçin Sismik Sınırlama Kılavuzları) ifadesi yer almaktadır [10]. NFPA 13'ün gerektirdiği yangın dayanım şartlarından geçtiğine dair hiçbir ibare bulunmamaktadır [3].

Maalesef ülkemizdeki yangın projelerinin şartnamelerine yazdırılarak satışı yapılan ve onaylanan ürünler, yangın koruma sistemleri için onayı bulunmayan **OPM-0043-14** numaralı belgeye sahip ürünlerdir [11].

Bu durum, sırf üzerinde yabancı bir kurumun logosu var diye içeriği ve kapsamı okunmayan belgelerin sistem güvenliğini nasıl tehlikeye attığının en net göstergesidir [13].

4.3. TÜV Onayları ve ANSI/ASHRAE 171 Standardının Gerçek İçeriği

Şartnamelerde sıklıkla yer alan **"TÜV Sertifikalı/Onaylı"** ifadesinin altı deşildiğinde, yine benzer bir standart saptırması ile karşılaşılmaktadır. Sismik halat tedarikçisi bir firma yetkilisinin, *"UL ya da FM sertifikası olmayan, ASHRAE normlarında testleri yapılmış ürünleri TÜV'ü third party olarak kullanarak pazarlıyoruz"* şeklindeki itirafı, dayanak gösterilen standardın (**ANSI/ASHRAE 171-2017** [5]) incelenmesini zorunlu kılmıştır.

"ANSI/ASHRAE Standard 171-2017 Method of Testing for Rating Seismic and Wind Restraints" isimli stan-

dardın kendi kapsam metni, bu testlerin yangın tesisatlarında neden kullanılamayacağını şu ifadelerle açıkça beyan etmektedir:

"Önerilen bu yeni standart, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma (HVAC&R) ekipmanları için sismik sınırlamaların kapasitesini belirlemek için statik test prosedürleri sağlar. Kablo sınırlayıcılar, izolatör/sınırlayıcı kombinasyonları, sismik sınırlandırıcı ve rijit destek dâhil olmak üzere birçok sismik sınırlayıcı cihaz türü için geçerlidir. BU STANDART, SÜNEK OLMAYAN MALZEMELERDEN YAPILMIŞ SİSMİK SINIRLAMA CİHAZLARI İÇİN GEÇERLİ DEĞİLDİR." [6]

Ayrıca, literatürde kabul gören *Practical Guide to Seismic Restraint* (James R. Tauby, Richard Lloyd, 2. Baskı, s.38) adlı eserde sertifikasyon süreci şu şekilde tanımlanmaktadır:

"Tüm sismik sınırlayıcılar ve izolatör/sınırlayıcı kombinasyonlarının sismik kapasiteleri doğrulanmalıdır. [...] Bağımsız onay, Kaliforniya Eyaleti Eyalet Çapında Sağlık, Planlama ve Geliştirme Ofisi (OSHPD), NES, ICC ES, Factory Mutual, Underwriters Lab, Seismic Source International gibi kurumlar tarafından da alınabilir." Bu referanslar, uluslararası akreditasyon kuruluşlarının sitelerinden sertifika kod numarası ile doğrudan doğrulanabilen gerçek ürün belgelerini (Listed/Approved) işaret etmektedir *[7].*

Ancak ülkemizde **"TÜV Sertifikası/Onayı"** adı altında sunulan belgeler; NFPA 13'ün talep ettiği bir ürün sertifikası [3, 11] veya uluslararası bir yangın onay belgesi değil, yalnızca ilgili HVAC&R statik testlerine nezaret edildiğini gösteren gözetim/rapor evraklarıdır. Yangın tesisatlarında sismik koruma eksikliği, depremde sistemin susmasına ve yangına müdahale edilememesine yol açacağı için [12], bu gözetim raporlarının **"sertifikalı ürün"** zorunluluğu [2] yerine kullanılması açık bir mühendislik ihlalidir ve deprem sonrası yangın (DSY) riskini en üst seviyeye çıkarmaktadır [12, 13].



Şekil 9 *TÜV veya diğer "onay" adı altında sunulan gözetim raporlarının görselleri*

Yangın dayanımını hedefleyen **"sertifikalı ürün"** zorunluluğunun (BYKHY Madde 96), standart dışı statik test gözetim raporlarıyla ikame edilmeye çalışılması açık bir mühendislik ihlalidir ve yangın anında telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurmaya gebedir.

5. PROJE DETAYLARI VE SAHA UYGULAMALARINDAKİ KRİTİK HATALAR: AĞIR YÜK KELEPÇESİ ÖRNEĞİ

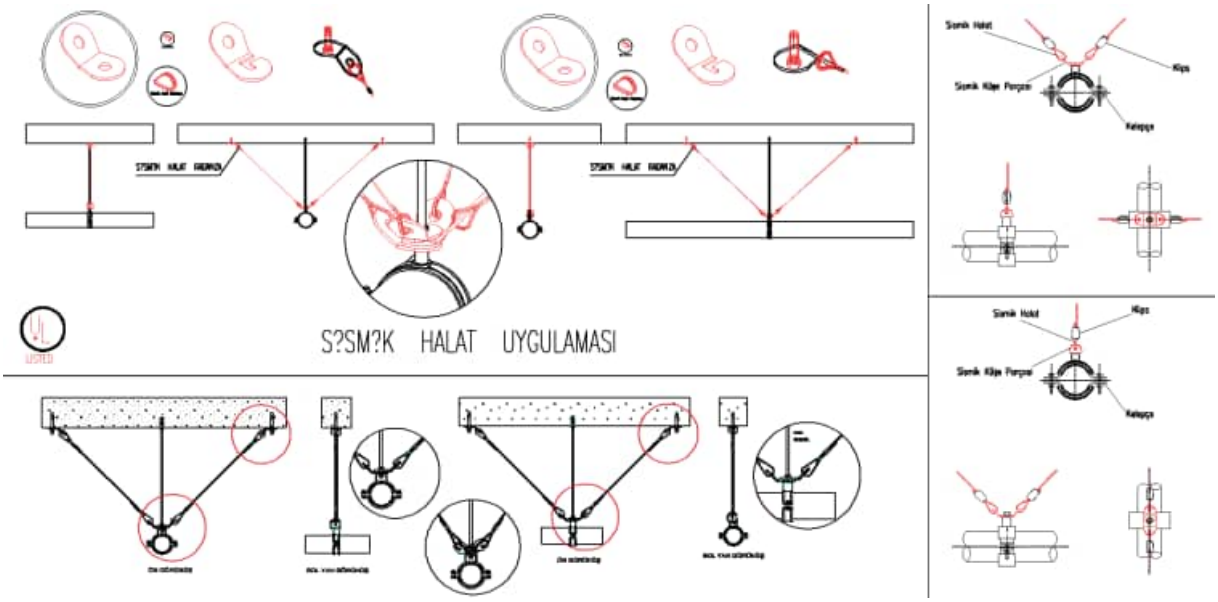
Bölüm 3'te detaylandırılan **"Yapım İşlerine Ait Tip Sözleşme"** hükümleri gereğince, sahada yapılacak imalatın ana referansı şartnameler değil, uygulama projelerinde verilen detay paftalarıdır. Ne yazık ki ülkemizdeki birçok projede, kopyala-yapıştır yöntemiyle oluşturulan bu detay paftalarında sismik halatların yangın borularına «**Ağır Yük Kelepçesi"** ile bağlandığı görülmektedir. Bu durum hem ulusal mevzuatla hem de projelerin kendi şartnameleriyle derin bir çelişki yaratmaktadır.

5.1. Şartname Metinleri ve Sertifikasyon Çelişkisi

Bölüm 4'te incelenen 2. Örnek Şartnamede (sismik ürün tedarikçisi ve danışmanı firma tarafından hazırlanan metinde) şu açık kural yer almaktadır:

*"Tesisat taşıyıcı kelepçe ve bağlantılar **UL veya FM** sertifikalı olmalıdır. Eğer sismik sete dâhil bir kelepçe sistemi kullanılacak ise, bu kelepçelerin de sismik yükleri karşılar olduğunu gösterir **UL** veya **FM** sertifikası olmalıdır."*

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) de *"Sistemde kullanılacak bütün ekipmanın sertifikalı olması şarttır"* diyerek bu zorunluluğu yasal bir zemine oturtmuştur [2]. Bu iki kesin kural ışığında değerlendirildiğinde; yangın tesisatlarında **"Ağır Yük Kelepçesi" kullanılması mevzuat gereği mümkün değildir.** Çünkü ülkemiz pazarında satışı yapılan ve sismik halatlara bağlanan ağır yük kelepçelerinin hiçbirinde yangın tesisatları için zorunlu olan **UL listesi** veya **FM onayı** bulunmamaktadır [11, 12].



***Şekil 10** Projelerde kullanılan ve sismik halatın ağır yük kelepçesine bağlandığını gösteren hatalı AutoCAD detay paftası görselleri*

Ulusal standartların ve mevzuatın spesifik ürün detayı vermediği konularda, yasa gereği uluslararası standartların referans alınması esastır. Bu kapsamda dünya genelinde temel referans kabul edilen **NFPA 13** standardı incelendiğinde, yangın tesisatlarında sismik koruma amacıyla kullanılabilecek askı ve bağlantı tipleri görsellerle açıkça belirtilmiştir [3]. İlgili standart detaylarında **"ağır yük kelepçesi"**, sprinkler tesisatı için bir askı elemanı olarak hiçbir şekilde yer almamaktadır.

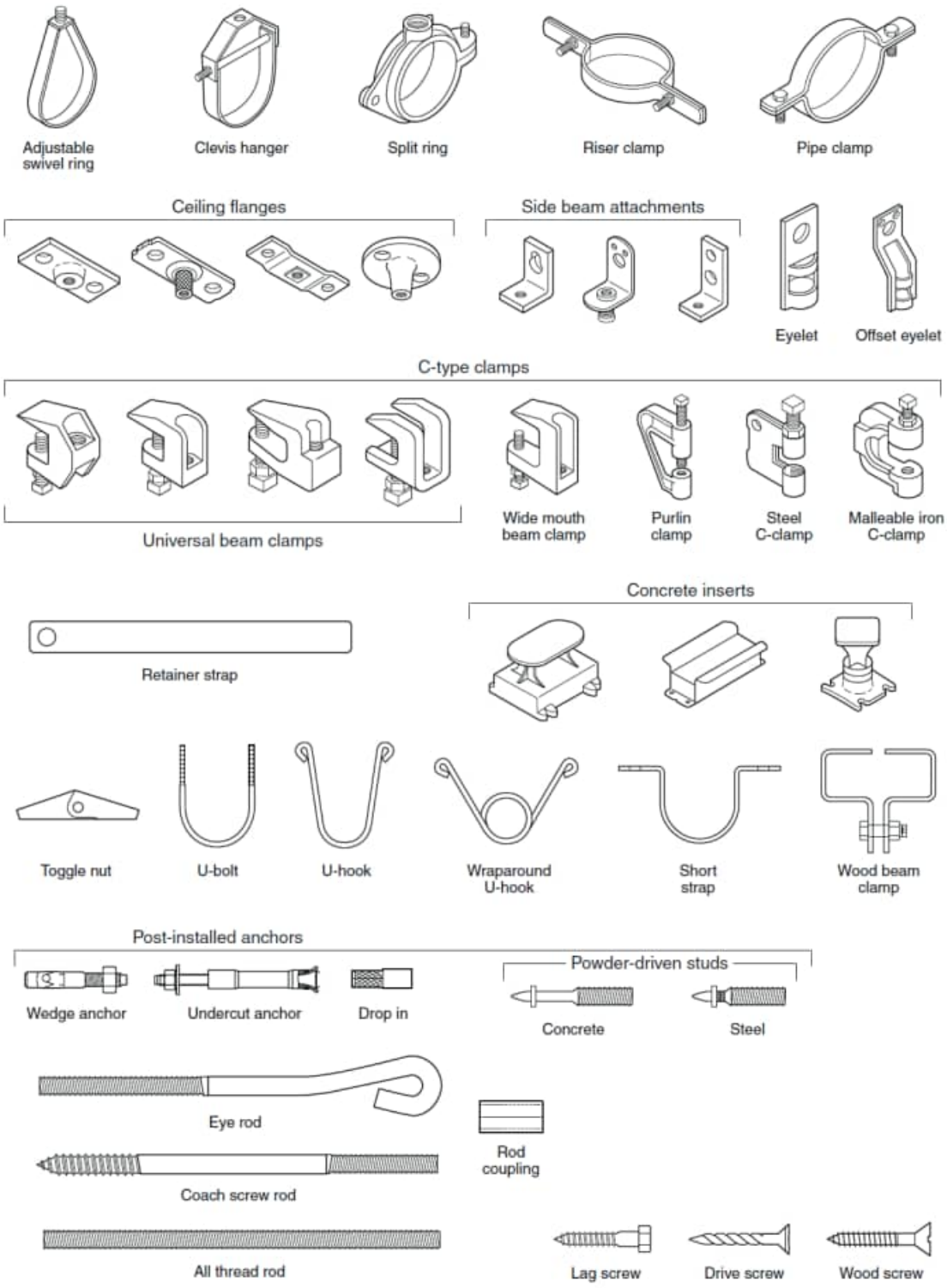


FIGURE A.9.1.1 Common Types of Acceptable Hangers.

2016 Edition

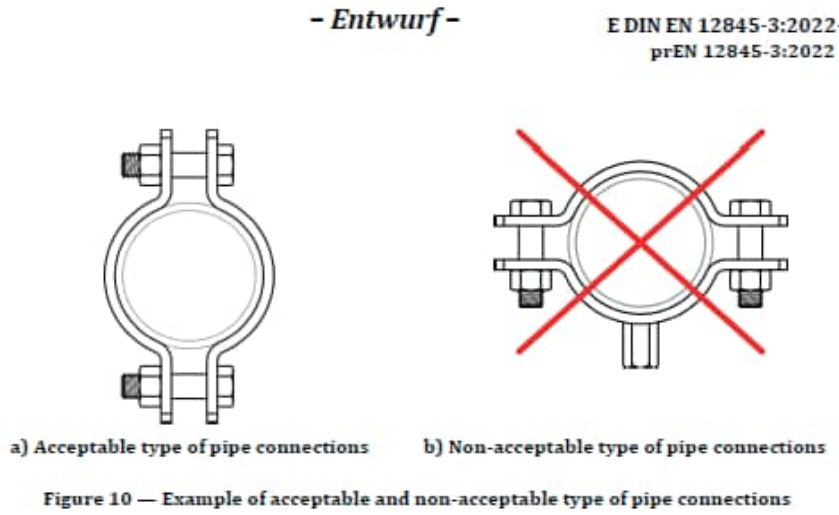
Şekil 11 *NFPA 13 standardında yer alan ve yangın tesisatında kullanılabilir askıları gösteren, ağır yük kelepçesinin bulunmadığı referans görsel*

Durum yalnızca Amerikan standartlarıyla (NFPA) sınırlı değildir. Türkiye, Avrupa Birliği uyum yasaları gereği Avrupa standartlarına (EN) da uymakla yükümlüdür. Bu doğrultuda, **CEN/TS 18551:2021**'in [4] yerine geçecek olan *"Sabit yangınla mücadele sistemleri- Otomatik yağmurlama sistemleri- Bölüm 3: Deprem*

desteğine yönelik kılavuz» (Fixed firefighting systems- Automatic sprinkler systems- Part 3: Guidance for earthquake bracing) (ICS 14.220.20) standardı incelendiğinde, ağır yük kelepçesi/boru halkası kullanımının kesin bir dille yasaklandığı görülmektedir.

İlgili Avrupa Standardının **"5.2.5.5 Sprinkler borularına bağlantı (Attachment to sprinkler piping)"** başlıklı bölümünde sismik halatların boruya bağlantısı için çok net bir mühendislik kısıtlaması getirilmiştir:

"Pipe rings shall not be used because they result in a loose fit / Boru halkaları gevşek bir bağlantıya neden olacağından kullanılmamalıdır (Şekil 12)" [4].



Şekil 12 Avrupa Standardına ait, boru halkalarının (pipe rings) gevşek bağlantı nedeniyle kullanılamayacağını belirten orijinal Şekil 11 görseli

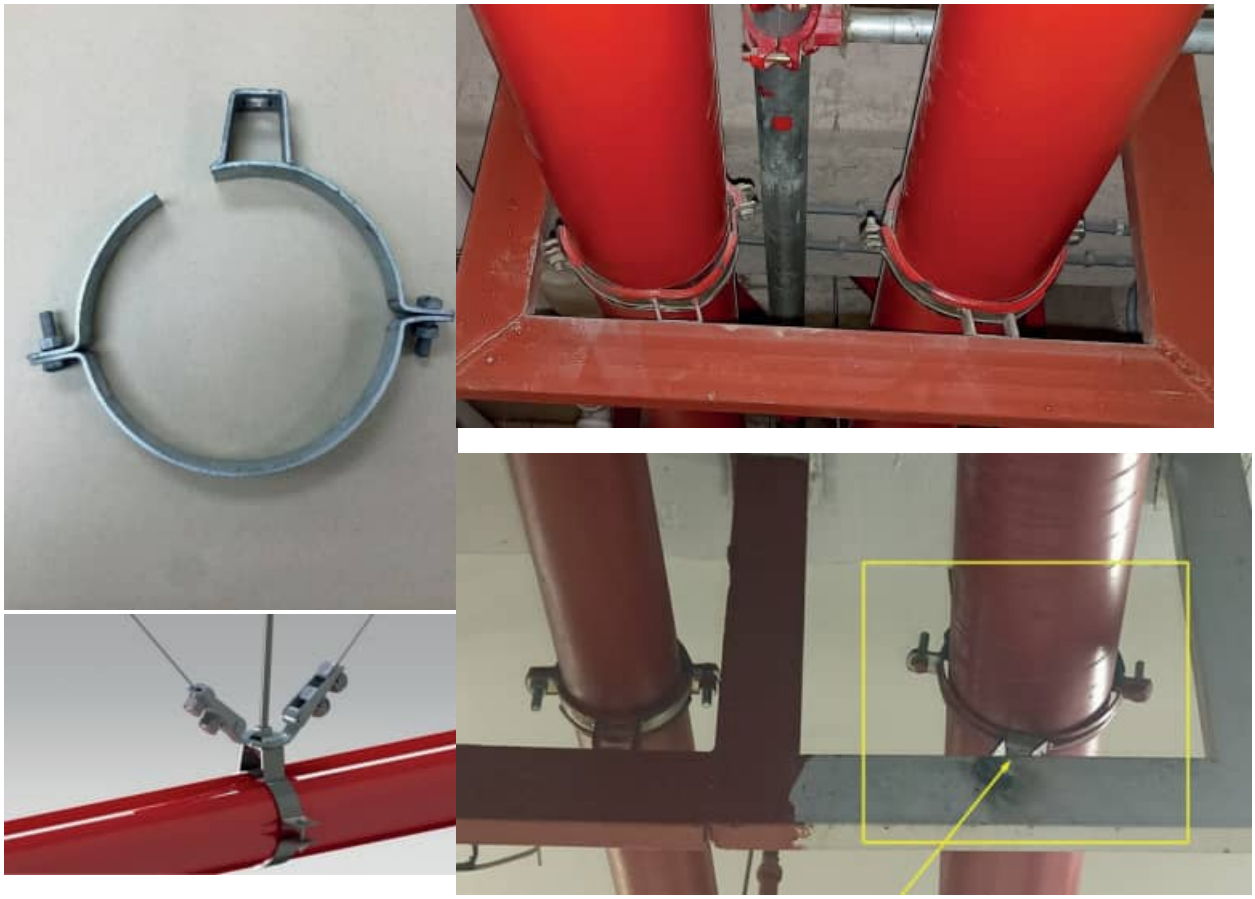
Gerek NFPA 13'ün boru bağlantı onay listesinde yer almayan gerekse Avrupa standartlarının "gevşek bağlantıya neden olacağı için kullanılmamalıdır" diyerek açıkça yasakladığı bu kelepçelerin, ülkemizdeki projelerde sismik koruma halatlarına ana bağlantı elemanı olarak dayatılması, uluslararası mühendislik normlarının açık ve tehlikeli bir ihlalidir.

5.2. Saha Uygulamalarından Somut Kanıtlar

Proje detay paftalarındaki bu temel mühendislik hatası, sahada doğrudan onaysız ürün kullanımını meşrulaştırmaktadır. Gerek NFPA 13'ün onay listesinde yer almayan, gerekse Avrupa standartlarının "gevşek bağlantıya neden olacağı için kullanılmamalıdır" diyerek yasakladığı [4] bu kelepçelerin kullanılması, afet anında sistemin çalışabilirliğini imkânsız kılmaktadır [13].

Piyasada faaliyet gösteren sismik koruma firmalarının, müteahhitlerin ve sektörel tedarikçilerin referans projelerinden derlenen ve yazarın bizzat saha incelemelerinde tespit ettiği uygulamalar, bu ihlalin ne kadar yaygın olduğunu göstermektedir.

Aşağıdaki görsellerde, yangın (kırmızı) hatlarında **UL/FM** onaylı rijit sismik bağlantı elemanları kullanmak yerine, onaysız standart ağır yük kelepçelerinin sismik halatlarla birleştirildiği standart dışı şantiye uygulamaları yer almaktadır.



Şekil 13 *Sol Onaysız bir endüstriyel kelepçede oluşan hasar, Sağ Yangın tesisatında kullanılan ağır yük kelepçe uygulamalarına örnek*















Şekil 14 *Soldaki resimler gerçek saha resimleri sağdaki sunum resimleri* NFPA 13 *Komite üyesi DANIEL C. DUGGAN beye aittir*



Şekil 15 *Yazar tarafından çekilen saha uygulamalarına örnekler*

5.3. Denetim Zafiyetinin Zirvesi: Saha Örnekleri

Bu standart dışı uygulamanın ulaştığı en çarpıcı nokta, bizzat 2. Örnekteki ***"Kelepçeler UL veya FM sertifikalı olmalıdır"*** şartnamesini yazan sismik danışmanlık firmasının kendi üstlendiği projelerdeki saha gerçekliğidir.

Aşağıda sunulan görseller, yazar tarafından bir Şehir Hastanesi projesinde bizzat kayıt altına alınmıştır. Kendi hazırladıkları şartnamede **UL/FM** sertifikalı kelepçe kullanımını zorunlu tutan firmanın uygulamasında, sismik halatların hiçbir yangında kullanılabilir sertifikası **(UL/FM)** bulunmayan ağır yük kelepçelerine bağlandığı açıkça tespit edilmiştir.



Şekil 16 *Yazarın bizzat çektiği, Şehir Hastanesindeki hatalı sismik ağır yük kelepçesi uygulamasını gösteren fotoğraflar*



Şekil 17 *Yazarın bizzat çektiği, uluslararası bir havalimanındaki hatalı sismik ağır yük kelepçesi uygulamasını gösteren fotoğraflar*

Mevzuatın emrettiği sertifikasyon zorunluluğunu onaysız ağır yük kelepçeleriyle ihlal eden bu zihniyet, Tür-

kiye'deki sismik koruma denetimlerinin ne kadar yetersiz olduğunun ve sürecin tamamen ticari inisiyatiflere terk edildiğinin en somut kanıtıdır [11]. Unutulmamalıdır ki; depremde hayatta kalan insanlar, yangın sistemleri bu tür hatalı bağlantılar nedeniyle sustuğu için hayatını kaybedebilir [12].

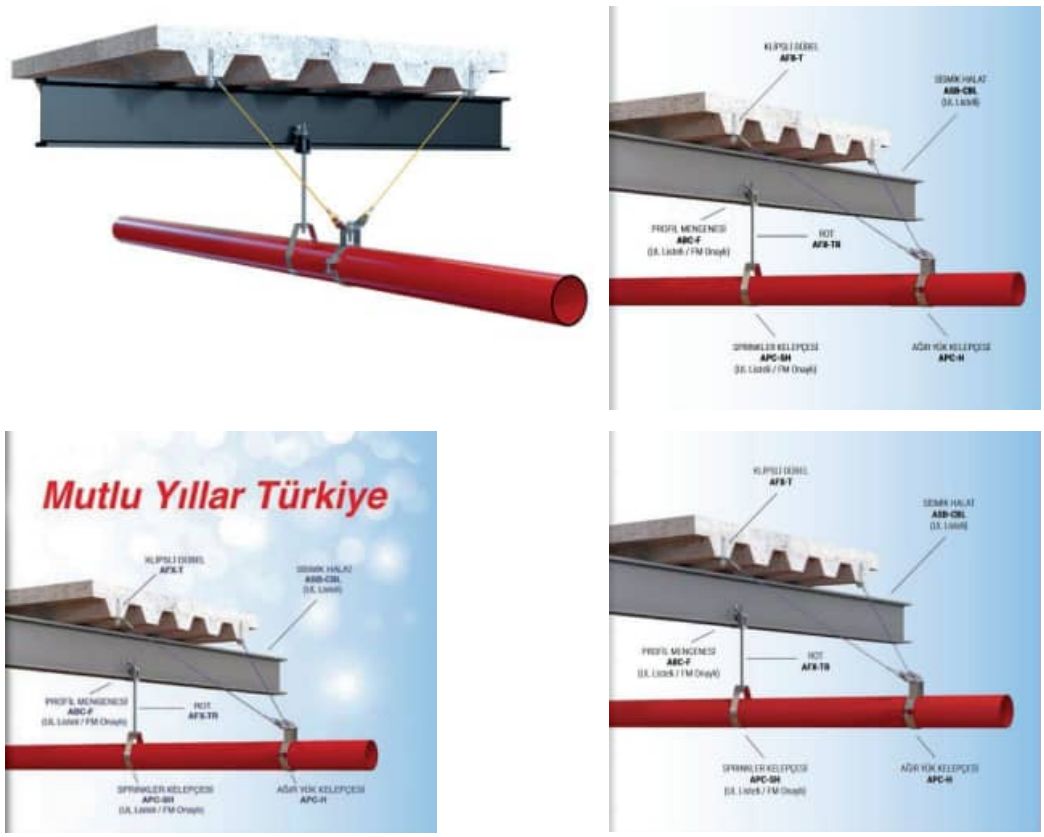
6. SEKTÖREL DEZENFORMASYON VE YANLIŞ UYGULAMALARIN KANIKSANMA SÜRECİ

Sertifikasyon ve projelendirme hatalarının sahada bu denli yaygınlaşması tesadüf değildir. Yangın tesisatlarında sismik halatların onaysız ağır yük kelepçelerine bağlanması gibi ölümcül hatalar; sektörel yayınlar, eğitim seminerleri ve hatta akademik makaleler aracılığıyla sistematik olarak meşrulaştırılmış ve sektör mühendislerine "doğru uygulama" olarak dikte edilmiştir [11]. Bu süreç, sismik korumayı can güvenliği odağından çıkarıp tamamen ticari bir "onay illüzyonuna" indirgemektedir [12].

6.1. Sektörel Yayınlar ve Dergi Kapaklarındaki Hatalı Yönlendirmeler

Bu standart dışı uygulamaların sektörde yayılma ve kanıksanma süreci incelendiğinde, başlangıç noktası olarak sektörel medyanın kullanıldığı görülmektedir. 2018 yılında sektörün önde gelen yayın organlarından biri olan ********* dergisinin haber bölümünde (Ocak-Şubat 2018 / Sayı **) sismik halat tedarikçisinin reklam görsellerine yer verilmiştir. Ayrıca 2018 ve 2019 yıllarında sektörün önde gelen yayın organlarından biri olan ****** ** ******** dergisinin kapaklarında (Eylül 2018 / Sayı ***, Kasım-Aralık 2018 / Sayı ***, Nisan 2019 / Sayı ***) sismik halat tedarikçisinin reklam görsellerine yer verilmiştir.

Bu kapak görsellerinde, yangın borularına bağlanan sismik halatların doğrudan "onaysız ağır yük kelepçelerine" monte edildiği 3D tasarımlar ve fotoğraflar kullanılmıştır. Mevzuata tamamen aykırı olan bu montaj detaylarının sektörel bir derginin kapağında defalarca "çözüm" olarak sunulması, hatalı pratiğin mühendisler ve uygulamacılar nezdinde normalize edilmesine zemin hazırlamıştır [11].



Şekil 18 *2018 ve 2019 yıllarına ait dergi görselleri*

6.2. Eğitim Seminerleri (Webinarlar) ve Çelişkili İtiraflar

Bu dezenformasyon süreci günümüzde eğitim seminerleri ve webinarlar üzerinden devam etmektedir. Sektörde faaliyet gösteren ve sismik ürün tedariki sağlayan global bir firmanın, *"****** ********** ***** ********* ***** ** ******* *******"* başlığıyla düzenlediği webinarda sunulan görseller, bu bilgi kirliliğinin en net örneklerinden biridir.

İlgili webinarda yangın tesisatı sismik koruması olarak "halatlı askı sistemleri" gösterilmiştir. Yazar tarafından, sunumdaki görsellerin uygunluğu sorgulandığında, global firma çalışanı tarafından yazılı olarak cevap verilmiş olup global firma ve webinarı yapan yetkili kişiden bir cevap gelmemiştir. Gelen cevap:

"Webinarımızda kullanılan örnekler tamamen görsel amaçlıdır... Webinarda değinildiği gibi, FM standartlarına göre, örnek görsellerde kullanılan halatlı askı sistemleri esnek yapıları nedeniyle sismik yükler altında yeterli direnç gösteremezler. [...] Sismik askılamalarda FM standartları referans alınıp... FM Onaylı rijit malzemeler kullanılmalıdır."



Şekil 19 *Webinar sunumunda kullanılan görseller*

Düzenlenen yangın güvenliği webinarında *"esnek halatlı sistemlerin sismik yük altında direnç gösteremeyeceğini ve rijit malzeme kullanılması gerektiğini"* beyan eden bu (firmaya cevap hakkı verilmiş olup dönüş olmamıştır. Bundan dolayı bu cevabı firma cevabı olarak kabul etmiş bulunmaktayım) firmanın, aynı zamanda piyasaya **"ANSI/ASHRAE 171 TÜV gözetim belgeli»** halat seti satmaya devam etmesi, sektördeki mühendislik etiği krizinin boyutlarını gözler önüne sermektedir.

Bu çelişkili yaklaşım, bir yandan teknik olarak yetersizliği kabul edilen sistemlerin, diğer yandan **"sertifikalı"** adı altında pazarlanmaya devam etmesi, afet anında sistem çalışabilirliğini doğrudan tehlikeye atmaktadır [12, 13]. "Görsel amaçlı" denilerek yapılan bu sunumları izleyen binlerce meslektaşımız, bu uygulamaları doğru zannedip şantiyelerinde uygulamaktadır.

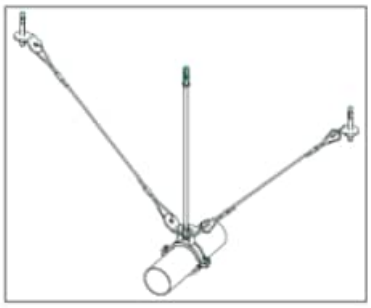
6.3. Akademik Literatüre Sızan Hatalı Referanslar

Sektörel dergilerde ve ticari webinarlarda yayılan bu onaysız uygulamalar, çizimler ve hatalı 3D görseller, maalesef zamanla akademik literatüre de sızmayı başarmıştır. Akademik veri tabanlarında yayınlanan bazı

makalelerde, sismik askılama detayları anlatılırken ticari firmaların kataloglarından alınan bu **"ağır yük kelepçeli hatalı halat montajı"** görselleri doğru bir bilimsel referansmış gibi kullanılmaktadır.

2.3.1. Enlemesine Sismik Askılama

Sistemin esasında şu parametreler gözetilmelidir; her boru hattının başlangıç ve bitişinin 1,8 m mesafesinde ve en fazla 12 m aralıklar ile tüm hat boyunca yapılmalıdır. Çapına bakılmaksızın bütün besleme hatları ve ana hatlar ile DN65 ve üzeri diğer tüm hatlara uygulamak esastır.



Şekil 9 Enlemesine sismik boru bağlantıları [12]

2.3.2. Boylamasına Sismik Askılama

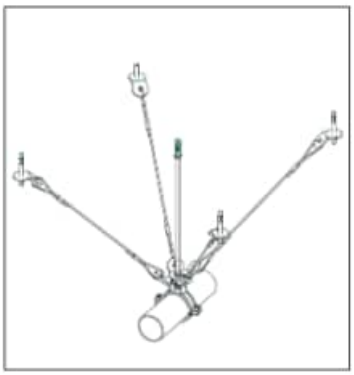
Sistemin esasında şu parametreler gözetilmelidir; Her hattın başına ve sonuna 12 m içinde konmalıdır. En fazla 24 m aralıklar ile tüm boru hattı için uygulanır. DN65 ve üzeri diğer tüm boru hatlarına uygulanır.



Şekil 10 Boylamasına sismik boru bağlantıları [12]

2.3.3. Dört Yönlü Sismik Askılama

Sistemin esasında şu parametreler gözetilmelidir; 100 cm üzerindeki inişlerde, dirsekten 60 cm içeride uygulanmalı, U bolt dışında herhangi bir kelepçe ile dikey hat askılanmış ise hattın yataya dönmesinden 60 cm içerisinde kullanılmalıdır. Enine ve boyuna askılamaların çakıştığı yerde alternatif olarak kullanılmaktadır.



Şekil 11 Dört yönlü sismik boru bağlantıları [12]

Şekil 20 *Akademik makaleden alınan ve hatalı sismik askılama görselleri*

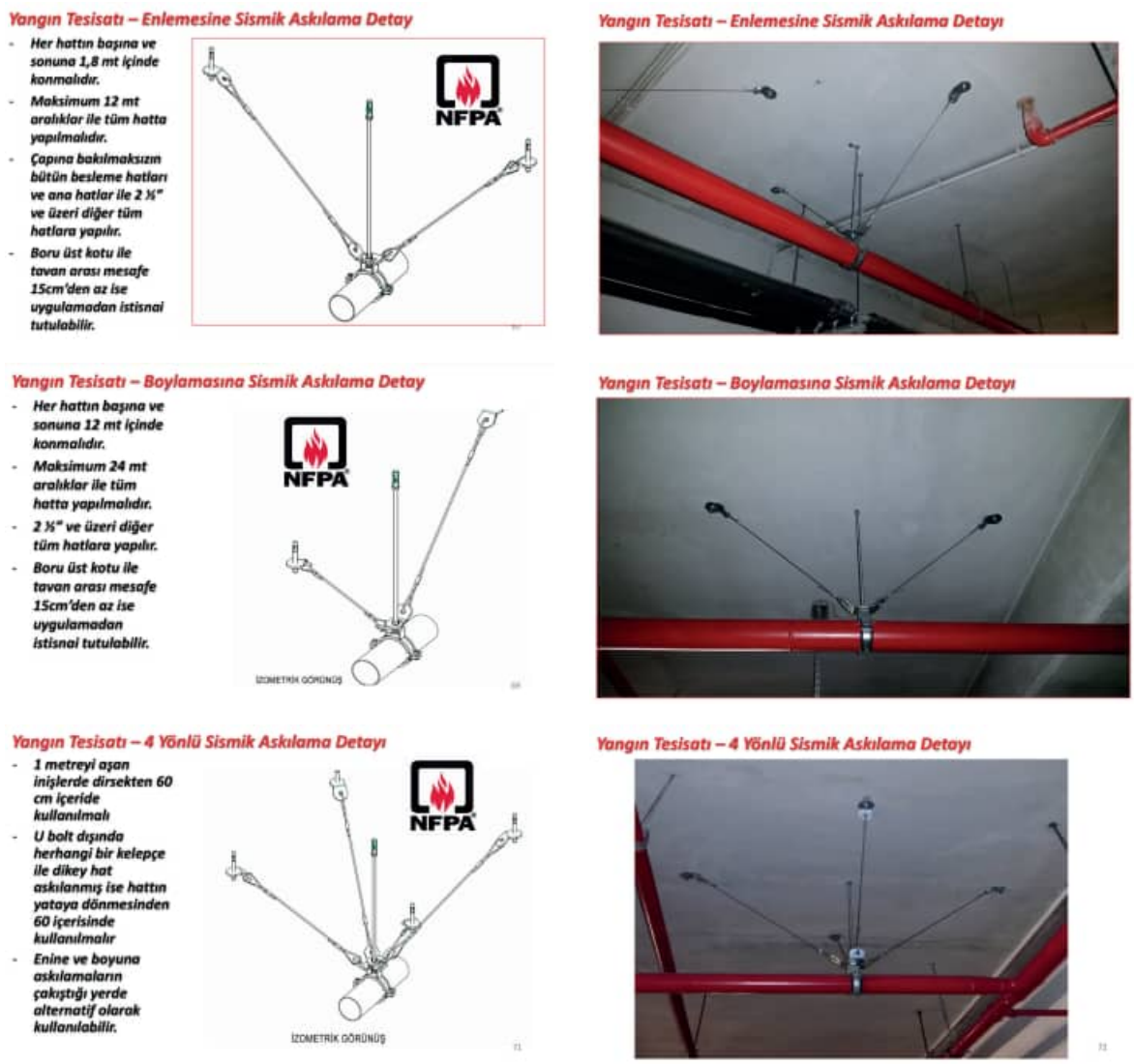
Sertifikasyon eksikliklerinin ve yanlış bağlantı detaylarının bilimsel makalelere kadar girerek literatürleşmesi, sorunun sadece bir denetim eksikliği olmadığını, aynı zamanda derin bir akademik ve mesleki dezenformasyon problemi olduğunu kanıtlamaktadır [11].

6.4. Mesleki Dernek Eğitimleri ve Sempozyum Bildirilerindeki Zafiyetler

Sertifikasyon zorunluluğunu göz ardı eden ve sismik halatları onaysız ağır yük kelepçelerine bağlayan bu standart dışı detayların normalize edilmesindeki en acı tablo, mesleki derneklerin eğitimlerinde ve ulusal sempozyumlarda karşımıza çıkmaktadır.

Sektörde elektromekanik tesisat taahhüt işlerine yön veren en üst düzey meslek derneklerinden birinin,

2016 yılında düzenlediği "Askılama ve Sismik Kontrol Semineri" sunum dosyalarında dahi; yangın standartlarından geçmemiş olan ağır yük kelepçelerine sismik halat bağlandığını gösteren çizimler "eğitim materyali" olarak kullanılmıştır [15]. Özellikle konaklama amaçlı tesisler ve kamuya açık binalar gibi yüksek riskli yapılarda, bu tür hatalı eğitimler neticesinde yapılan uygulamalar, deprem sonrası yangın (DSY) riskine karşı binaları tamamen savunmasız bırakmaktadır [12, 13].



Şekil 21 *Derneğin 2016 yılı «******** ** ***** ******» seminer sunumundan alınan hatalı görseller*

Bu dezenformasyonun ulaştığı tepe noktası ise, sektörün en prestijli bilimsel platformu olan ve ulusal çapta düzenlenen **"Yangın Sempozyumu"** etkinliklerinin geçmiş sunum dosyalarına kadar yansımış olmasıdır. Ulusal mevzuatımızın ve NFPA 13'ün açık hükümlerine aykırı olan bu montaj detayları, geçmiş yıllarda sempozyum katılımcılarına birer mühendislik çözümü gibi sunulmuş ve literatüre geçmiştir.



Şekil 22 *Geçmiş sempozyum sunumunda kullanılan hatalı bilgilendirme*

Sektörün en güvenilir kabul edilen eğitim seminerlerinde ve yangın güvenliğinin tartışıldığı en üst düzey bilimsel platformlarda dahi bu yanlış bilgilerin kendine yer bulabilmesi, sismik askılama konusundaki "sertifikasyon illüzyonunun" ne kadar derin bir mesleki körlüğe yol açtığının en kesin kanıtıdır. Bu durum, piyasadaki uygulamacıların neden hatalı işler yaptığını açıklamakla kalmamakta, aynı zamanda sorunun kökeninde yatan o büyük denetim ve eğitim zafiyetini gözler önüne sermektedir [11].

7. SEKTÖREL DEZENFORMASYONUN KİTAPLAŞMASI: SÖZDE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ VE EL KİTAPLARI

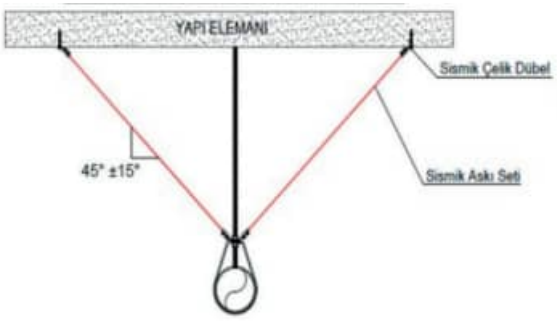


Sektördeki bilgi kirliliği ve standart dışı uygulamalar sadece şantiye sahalarıyla sınırlı kalmamış; ticari sismik ürün tedarikçilerinin "sözde mühendislik hizmetleri" kapsamında destek verdikleri teknik yayınlara kadar sıçramıştır. Yakın zamanda "Yapısal Olmayan Taşıyıcı ve Sismik Koruma" özelinde yayımlanan bir el kitabı incelendiğinde; haksız rekabet yaratan, afet anında sistem çalışabilirliğini tehlikeye atan ve kamu güvenliğini riske eden ciddi yönlendirme hataları ile iç çelişkiler tespit edilmiştir [12, 13].

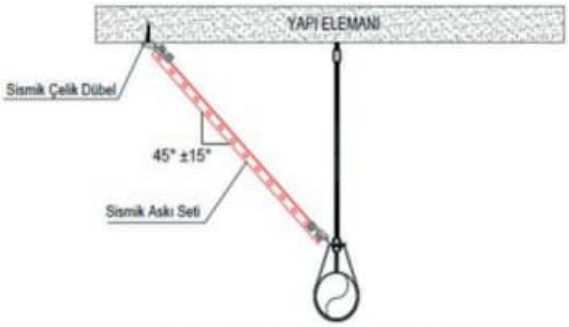
7.1. Hatalı Çizimlerin "Referans Uygulama" Olarak Sektöre Sunulması

Söz konusu el kitabının teknik çizimler bölümünde yer alan "Şekil 6-13 Boyuna Halatlı Askılama" ve "Şekil 6-14 Boyuna Rijit Askılama" detayları incelendiğinde, sismik bağlantıların açıkça **"Ağır Yük Kelepçesi"** üzerine yapıldığı görülmektedir.

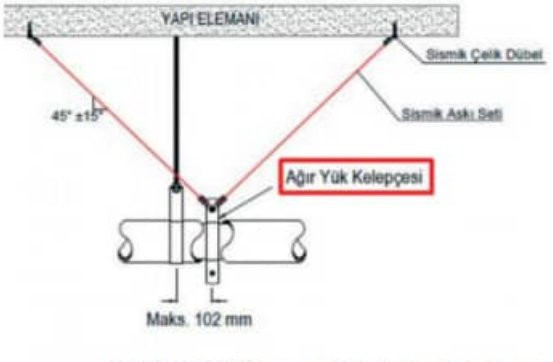
Oysa Bölüm 5'te detaylandırıldığı üzere, sismik askıların doğrudan ağır yük kelepçelerine veya askı rotlarına bağlanması, global sismik üreticileri tarafından "Kötü Sismik Askı Kurulumları (Bad Seismic Brace Installations)" olarak tanımlanan ve "askı rotunun bükülüp kırılacağı" gerekçesiyle kesinlikle reddedilen ölümcül bir mühendislik hatasıdır [11]. Global otoritelerin **"kabul edilemez"** diyerek uyardığı bir bağlantı şeklinin, sektöre yön vermesi beklenen bir el kitabında doğrudan **"Ağır Yük Kelepçesi"** etiketiyle referans çizim olarak sunulması, dezenformasyonun ulaştığı vahim boyutu kanıtlamaktadır.



Şekil 6-10 Enine Halatlı Askılama

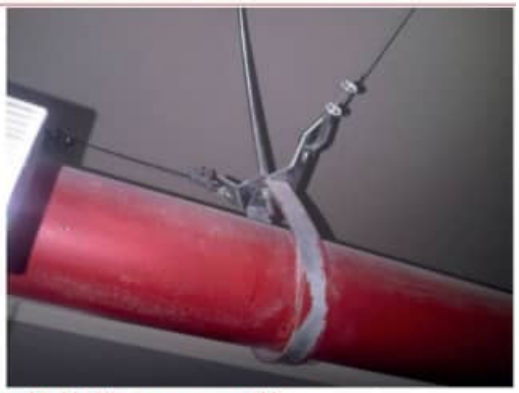


Şekil 6-11 Enine Rijit Askılama



Şekil 6-12 Boyuna Halatlı Askılama

Bad Seismic Brace Installations



- "U" Shaped Cable Clips are unacceptable
- Seismic Brace NOT connected to Brace Pipe
- Hanger Rod will bend and break

Bad Seismic Brace Installations



- Strut Fitting arrangement will easily bend
- Strut Brace Fittings are NOT UL LISTED
- Pipe will swing on fitting hinge (the pipe is not braced)

Bad Seismic Brace Installations



- Wedge Type Cable Fittings are unacceptable
- Cable Brace Fittings are NOT UL LISTED
- Pipe will slide through pipe clamp



Şekil 6-13 Boyuna Rijit Askılama



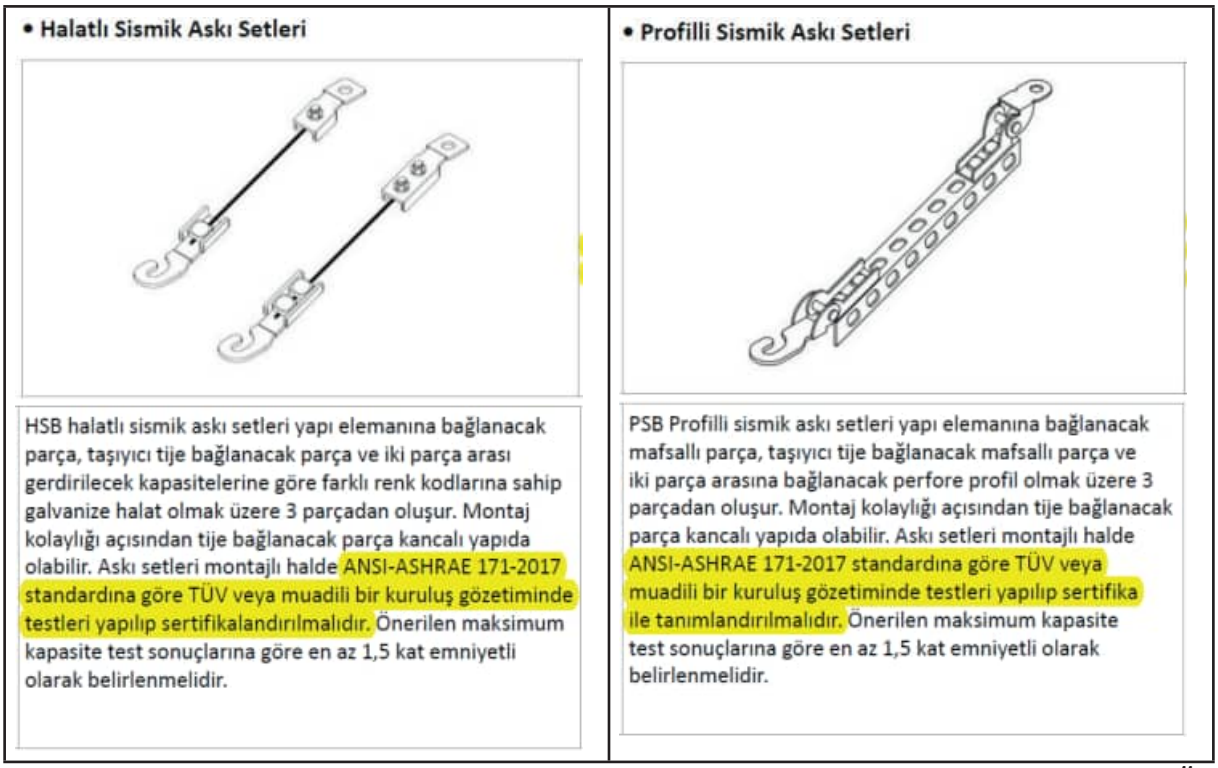
Şekil 23 *Soldaki resimler kitaptaki resimler sağdaki sunum resimleri NFPA 13 Komite üyesi DANIEL C. DUGGAN beye aittir*

7.2. Ticari Yönlendirmelerin El Kitabı Metinlerine İşlenmesi

Sismik ürün satışı yapan firmaların ticari manipülasyonları, kitabın malzeme seçimi metinlerine de birebir yansımıştır. Kitapta yer alan "Halatlı Sismik Askı Setleri" ve "Profilli Sismik Askı Setleri" tanımlamalarının her ikisinin de altına şu ibare standart bir kuralmış gibi eklenmiştir:

*"**ANSI-ASHRAE 171-2017** standardına göre **TÜV veya muadili** bir kuruluş gözetiminde testleri yapılıp sertifikalandırılmalıdır."*

Sadece statik testleri kapsayan ve kendi metninde sünek olmayan malzemeler için geçerli olmadığını beyan eden **ASHRAE 171** standardının [5], yangın dayanımı gerektiren sismik askılama setleri için bir "el kitabı" aracılığıyla sektöre yegâne doğruymuş gibi dayatılması, uluslararası yangın standartlarının açıkça manipüle edilmesidir [11].



Şekil 24 *El kitabından alınan ve sarı ile fosforlanmış "**ANSI-ASHRAE* **171-2017** *standardına göre TÜV gözetiminde..." ibarelerini içeren halatlı ve profilli askı seti görselleri*

7.3. Kitabın Farklı Bölümlerindeki Derin Çelişkiler ve Haklılığın İtirafı

Bu el kitabının güvenilirliğini asıl sarsan unsur ise, kitabın farklı bölümlerine yayılan kendi içindeki tutarsızlıklarıdır. Kitabın "Malzeme Test Raporları ve Sertifikasyon" bölümünde "Yangın Sistemleri ile ilgili olan ürünlerde **FM ve UL** belgeleri müşteriye sunulabilmelidir" ifadesi yer alırken, aynı yayının sismik koruma şartnamesi bölümüne gelindiğinde bu zorunluluk esnetilerek statik test belgelerine **(TÜV/ASHRAE)** kapı aralanmaktadır.

*"Yangın Sistemleri ile ilgili olan ürünlerde **FM ve UL** belgeleri müşteriye sunulabilmelidir."*

Aynı kitabın bir başka bölümünde ise taşıyıcı elemanlar özelleştirilerek çok kesin bir sınır çizilmiştir:

*"Yangın tesisatında kullanılacak boru kelepçeleri **FM ve UL** sertifikalarına sahip olmalıdır."*

Farklı bölümlerdeki bu çelişki, yangın hattında kullanılan elemanların mutlaka yangında kullanılabilir sertifikası **(UL/FM)** olması gerektiğinin dolaylı bir itirafıdır [11]. Bu kafa karışıklığı, özellikle deprem sonrası yangın (DSY) riskinin en yüksek olduğu kamuya açık binalarda sismik korumanın "kâğıt üzerinde" kalmasına neden olmaktadır [12, 13].

Ancak kitabın kendi koyduğu bu kesin kurallar, "Yapısal Olmayan Elemanlarda Sismik Koruma" başlıklı şartname bölümüne gelindiğinde tamamen unutularak şu ifadeye yer verilmiştir:

*"Seçilecek sismik malzemeler **OSHPD, UL, FM veya TÜV veya muadili** bir firma gözetiminde **ANSI-ASHRAE 171-2017** standardına göre testleri yapılıp sertifikalandırılmış olmalıdır."*

Malzeme Test Raporları ve Sertifikasyon

Ürünlerle ilgili olan sertifikasyonlar müşteriye sunulmalıdır. TSE, TSEK belgeleri veya diğer sertifikasyon belgeleri istenildiği takdirde sunulabilmelidir.

Yangın Sistemleri ile ilgili olan ürünlerde FM ve UL belgeleri müşteriye sunulabilmelidir.

- Yangın tesisatında kullanılacak boru kelepçeleri FM ve UL sertifikalarına sahip olmalıdır.

YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARDA SİSMİK KORUMA ve TİTREŞİM KONTROL ŞARTNAMESİ

1- KAPSAM

Proje dahilindeki mekanik tesisat ve ekipmanların SİSMİK SINIRLAMA ve bağlantılı olarak TİTREŞİM KONTROLÜ için gereken malzemeleri, projelendirme ve hesaplarını kapsamaktadır. Ayrıca ekipman ve tesisatın oluşturacağı titreşimin ve katı yolu ile geçecek sesin strüktüre iletilmesine engel olma ve ekipmanların verimini artırma çalışmalarını kapsamaktadır.

Hesaplamalar ve projelendirme ulusal ve uluslararası yönetmeliklere ve kodlara uygun olarak yapılacaktır:

- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018,
- IBC 2018 (International Building Code),
- ASCE 7 (American Society of Civil Engineers),
- NFPA13 2016 Edition,
- FEMA E-74 (Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage),
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

Seçilecek sismik malzemeler OSHPD, UL, FM veya TÜV veya muadili bir firma gözetiminde ANSI-ASHRAE 171-2017 standardına göre testleri yapılıp sertifikalandırılmış olmalıdır. Aşağıdaki açıklamalarda, sistemler için özellikle istenecek sertifika ayrıca belirtilecektir.

• Boruların ve kanalların titreşim kontrolü ve deprem koruması:

Ekipmandan çıkan boru veya kanal tij ile taşıtılıyorsa, ekipmandan çıkıştan itibaren ilk 15 m içindeki tijlere veya ilk 5 tije en az 5 mm çökmeli askı tipi kauçuk titreşim izolatörü kullanılacaktır. (Yangın tesisatı ve pis su tesisatı hariç)

Ekipmandan çıkan boru veya kanal çelik profil ile taşıtılıyorsa, "Kolektörler ve Mekanik Odalarda Çelik Profiller ile Taşıtılan Tesisat Bileşenleri" başlığındaki durum geçerlidir.

Asılı tesisatta sismik koruma, HSB (Halatlı Sismik Braket) veya PSB (Profilli Sismik Braket) sismik askı seti kullanılarak yapılacaktır. Kullanılacak ürünler OSHPD, UL veya FM onaylı veya TÜV veya muadili bir firma gözetiminde ANSI-ASHRAE 171-2017 standardına göre testleri yapılıp sertifikalandırılmış olmalıdır.

STANDARTLAR VE YÖNETMELİKLER

- Hesap ve projelerde esas alınacak regülasyonlar NFPA 13 2016, Uluslararası Bina Kodu - 2018 (IBC - International Building Code), ASCE 7-16 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'dir.
- Yapılacak tüm çalışmalar, geçerli ve uygulama tarihinde güncel olan standartlara, kurallara ve teknik gereksinimlere uygun olarak yapılacaktır.
- Yapılacak tüm uygulamalar Türkiye'de geçerli ve zorunlu mevzuata tümüyle ve eksiksiz uygun olmalıdır.

***Şekil 25** El kitabının farklı bölümlerinden alınan "Boru kelepçeleri FM ve UL olmalıdır" kuralları ile "TÜV gözetiminde ASHRAE" alternatifini sunan sismik koruma şartname paragraflarının yer aldığı birleştirilmiş görseli*

Aynı yayının "Standartlar ve Yönetmelikler" bölümünde, yapılacak tüm çalışmaların NFPA 13 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun olması gerektiği belirtilmektedir. Buna rağmen, kitabın farklı bölümlerinde yangın borusunu taşıyan kelepçe için kesin olarak **"UL/FM"** şartı aranıp, iş o kelepçeye bağlanan sismik koruma halatlarına geldiğinde bölgesel "OSHPD" veya statik **"ASHRAE/TÜV"** belgelerine kapı aralanması, sismik ürün tedarikçilerinin ticari kaygılarıyla şekillenen "sözde mühendislik" yayınlarının içler acısı halini gözler önüne sermektedir.

7.4. Yayıncı Kurumun Geri Bildirimleri ve Sektörel Sorumluluk Algısındaki Çelişkiler

El kitabındaki bu açık çelişkiler, standart dışı montaj çizimleri ve sertifikasyon kavram kargaşası üzerine; yazar tarafından yayını hazırlayan meslek derneği ile doğrudan resmi yazışmalar gerçekleştirilmiştir.
İlgili yazışmada kuruma; **OSHPD, UL, FM ve TÜV belgelerinin** aynı kriterleri kapsayıp kapsamadığı sorulmuştur. Ayrıca, **TÜV/ASHRAE 171** testlerinin bir **"sertifika"** değil, yalnızca bir **"test raporu"** olduğu vurgulanmış ve kitabın 193. sayfasında yer alan **"Yangın sistemlerinde UL/FM şarttır"** maddesi ile sismik donanımlardaki **"TÜV/ASHRAE"** yönlendirmesinin birbiriyle açıkça çeliştiği belgeleriyle iletilmiştir.

Ancak benim sismik konularında itirazlarım bulunmaktadır.

Ayrıca sismik özelinde eksik bilgi bulunduğunu da belirtmek isterim.

Öncelikle şu soruları sormak isterim.

Seçilecek sismik malzemeler OSHPD, UL, FM veya TÜV veya muadili bir firma gözetiminde ANSI-ASHRAE 171-2017 standardına göre testleri yapılıp sertifikalandırılmış olmalıdır. Aşağıdaki açıklamalarda, sistemler için özellikle istenecek sertifika ayrıca belirtilecektir.

1-Yukarıda belirtilen tüm sertifikalar aynı kriterleri mi kapsamaktadır.

2-Yayınlanan dokümanda ki bilgiler özelinde yukarıda sayılan sertifikalar ile ilgili bilgi sadece aşağıdaki gibidir. Bu sertifikalar nedir, neden alınır, ne işe yarar, olmaz ne olur bu konuda hiçbir bilgi bulunmamaktadır.

OSHPD CALIFORNIA'S OFFICE OF STATEWIDE HEALTH PLANNING AND DEVELOPMENT

TÜV TECHNISCHER UBERWACHUNGSVEREIN (TEKNİK MUAYENE BİRLİĞİ)

- FM: (Factory Mutual) Otomatik Sprinkler Sistemleri Boru Askısı Bileşenleri için (FM Onayı Standardı)
- UL: (Underwrites Laboratories) Yangın Söndürme (UL Onayı Standardı)

3- TÜV veya ANSI-ASHRE 171-2017 standartına göre test edilen ürünler SERTİFİKA ALMAZ TEST BELGESİ ALIR. Sanırsam burada yanlış anlaşılma olmuş. UL firması da test yapmaktadır ama testi gecen UL LİSTED sertifikası almamaktadır.

Underwriters Laboratories. **Verification Services**

Test Report

The results reported herein have been performed in accordance with the laboratory's terms of accreditation. This report shall not be reproduced except in full without the written approval of the Laboratory. The results in this report apply to the test sample(s) mentioned above at the time of the testing period only and are not to be used to indicate applicability to other similar products. This report does not imply that the product(s) has met the criteria for certification.

Page **2** of **7**

3- OSHPD – UL – FM Sertifika olduğunu göre TÜV veya ANSI-ASHRE 171-2017 standartına göre test edilen testten geçti belgesi alan ürünleri bir mi tutmaktasınız. Bu haksız kazanca, haksız rekabete ve doğru yerde yanlış ürün kullanılmasına neden olur.

4- Sismik korumada öncelik yangın tesisatıdır. Duman egzoz sistemleri de yangın tesisatına girmektedir. Elektrik olmadan da bu sistemler çalışmazlar.
Sayfa 193'de bulunan bu ibare

Yangın Sistemleri ile ilgili olan ürünlerde FM ve UL belgeleri müşteriye sunulabilmelidir. **ile yukarıdaki ibare çakışmaktadır. Yangın tesisatında kullanılan sismik ürünlerde bu kapsamda değerlendirilmesi gerektiğini düşünüyorum.**

***Şekil 26** 19.06.2021 Cum 15:41 Mesleki derneğe gönderilen e-posta görseli*

İlgili kurumdan alınan resmi yanıt, Türkiye elektromekanik sektöründe sismik koruma ve sertifikasyon konusundaki kavram kargaşasının bizzat yayıncı otoriteler tarafından da teyit edildiğini göstermektedir. Kurumun resmi yanıt metninde öne çıkan kritik hususlar şunlardır:

1. **Sertifikaların Eşdeğer Olmadığının Kabulü:** Kurum yetkilisi, *"Bahsedilen sertifikaların neredeyse hiçbiri birbirleriyle örtüşmemektedir, bu konular ile ilgili olan en az deneyimli insan bile bunları bilir"* diyerek, kitapta "veya" bağlacıyla yan yana koydukları belgelerin aslında birbirinin muadili olmadığını itiraf etmiştir.

2. **Test Raporu Gerçeği:** TÜV için *"Avrupa'da 3. parti test ve onay kurumudur... test şartlarına göre uygun veya değil diye evrak üretir"* denilerek, NFPA 13'ün talep ettiği "Listed (Sertifikalı)" ürün standardının karşılanmadığı, sadece test evrakı üretildiği doğrulanmıştır [3, 11].

3. **NFPA 13 ve Tasarım Standartlarının Kabulü:** Yanıt metninde yer alan, *"Eğer Amerikan normları kullanılıyor ve tasarım o nitelikte yapılıyor ise her türlü ekipman o standartların gerekliliklerine uygunluk taşımalıdır"* ifadesi, bu çalışmanın temel tezi olan NFPA 13 (UL/FM) zorunluluğunu bizzat el kitabını yazanların da kabul ettiğini göstermektedir.

4. **Sorumluluğun Tasarımcıya Devredilmesi:** En dikkat çekici husus ise, kılavuz niteliğindeki bir yayında birbirine zıt yönlendirmeler yapılmasına rağmen, olası bir uygulama hatasında tüm sorumluluğun sahadaki mühendise yüklenmesidir. Kurum, çelişkili yönlendirmelerini savunmak yerine; *"Konu ile ilgili karar verme yetkisi tasarımı yapan UZMAN Mühendis sorumluluğundadır"* diyerek nihai yükümlülüğü reddetmiştir.

Sayın Oğuzhan Ahmet KARA,

Aşağıdaki yayınımıza ilgili inceleme ve eleştirileriniz için teşekkür ederiz. Yanıt vermekte geciktiğimiz için, anlayışınızı rica ediyoruz. Kısaca açıklamalarımız aşağıda bilginize sunulmuştur.

1- Bahsedilen sertifikaların neredeyse hiçbiri birbirleri ile örtüşmemektedir, bu konular ile ilgili olan en az deneyimli insan bile bunları bilir.
   a. Amerikan menşeili OSHPD yazıldığı gibi Kaliforniya menşeili olup o bölgede onaylanmamış hiçbir malzeme kullanılamaz veya satılamaz. Bu eyalet sınırları içerisinde sismik hareketlerin yüksekliği nedeni ile zorunlu bir sertifikadır ve tartışılamaz.
   b. TüV Almanya menşeili olarak Avrupa da 3. Parti test ve onay kurumudur. Sertifika verebilir özellikle EUROKOD 3 kapsamında malzeme testlerine tanıklık eder ve test şartlarına göre uygun veya değil diye evrak üretir. Bu evrakların hiçbirinin Amerika da geçerliliği yoktur, sadece ANSI-ASHRAE 171-2017 standartlarında test yapılması durumunda geçerli olur. Satırlardan anlaşıldığı gibi ANSI-ASHRAE 171-2017 test şartlarını tarif eden bir normdur ve Amerika'nın Kaliforniya ve geri kalan tüm eyaletlerince de kabul edilmiştir.
   c. UL adından da anlaşıldığı üzere bir Test laboratuvarı dır ve genellikle Sigortacı veya otorite tarafından belirlenmiş koşulları test eder TÜV gibi test onay kuruluşudur Amerika için. Sadece Yangın konusunda sertifika vermez tüm elektrikli aletler içinde sertifikalandırma işlemleri yapar.
   d. FM ise sigortacıdır riskleri yönetmek için çeşitli konularda risk sigortası satan kuruluş olarak en katı koşulları tarif eder ve genellikle UL tarafından test edilen ekipmanların kullanımını şart koşar.

2- Soru 2 ve 3 cevabı zaten yukarıda anlatıldığı gibi olup şimdilik Avrupa da EUROKOD 3 dışında Amerikan sertifikaları özellikle deprem- sismik konularında ticari koruma kanunları gereği karşılıklı tanınma işlemi ile kabul edilirler, ancak çok yeni olarak EUROKOD 3 benzer sismik test ve sertifikasyon şartlarına yakın program başlatmıştır. Kitap içerisinde ilgili kısımda "**Derleyen Notu:"** okunur ise **avrupada yer alıp Amerika sismik bölgesi şartlarında olan Türkiyeden bahsedilir.**

3- UL listed anlamı uygunluk ölçeğinde listeye girmiş olması (bizim dilimizde sertifika alması demektir.)

4- Konu ile ilgili açıklamanız özellikle uluslararası pazarlarda geçerli olup Avrupa birliği tarafından sınırlar içerisinde test yeteneği ve prosedürlere bağlı olarak 3. Taraf tarfından şahitlik edilmiş tüm test ve raporlar geçerlidir. Aynı anlamda Türkiye içerisinde TSE tüm test olanaklarına rağmen bağımsız olmadığı için uluslararası kuruluşlarca makbul kabul edilmemektedir. Testler ilgili prosedürlere uygun yapılıp ayrıca bağımsız bir sivil kuruluş tarafından şahitlik edilirse bu verilen belgelerde kabul edilir. Pasifiğin her iki tarafında deprem ve sismik ekipmanlar vardır ve bunların Amerika hariç hiçbir tanesi nerdeyse Amerika dışında belirtilen sertifika ve prosedürlere itibar etmemektedir. (**3- OSHPD – UL – FM Sertifika olduğunu göre TÜV veya ANSI-ASHRE 171-2017 standartına göre test edilen testten geçti belgesi alan ürünleri bir mi tutmaktasınız. Bu haksız kazanca, haksız rekabete ve doğru yerde yanlış ürün kullanılmasına neden olur.)**

5- Yangın tesisatları içinde konu benzer nitelikte olup sizin tasarımınızda hangi konuları hangi standartları kullanarak yaptığınıza bağlıdır. Eğer Amerikan normları kullanılıyor ve tasarım o nitelikte yapılıyor ise her türlü ekipman o standartların gerekliliklerine uygunluk taşımalıdır. **Konu ile ilgili karar verme yetkisi tasarımı yapan UZMAN Mühendis sorumluluğundadır.**
(4- Sismik korumada öncelik yangın tesisatıdır. Duman egzoz sistemleri de yangın tesisatına girmektedir. Elektrik olmadan da bu sistemler çalışmazlar. Sayfa 193'de bulunan bu ibare

Yangın Sistemleri ile ilgili olan ürünlerde FM ve UL belgeleri müşteriye sunulabilmelidir.

ile yukarıdaki ibare çakışmaktadır. Yangın tesisatında kullanılan sismik ürünlerde bu kapsamda değerlendirilmesi gerektiğini düşünüyorum.)

Şekil 27 *23.08.2021 Pzt 15:34 Mesleki dernekten gelen, sertifikaların örtüşmediğini, ekipmanların standarta uyması gerektiğini ve sorumluluğun UZMAN mühendiste olduğunu belirten resmi yanıt e-postası*

Akademik Değerlendirme: Sektöre "kılavuz" olması amacıyla yayımlanan bir el kitabının, ticari sismik ürün kataloglarında yer alan **ASHRAE/TÜV** gibi statik testleri NFPA standartlarına alternatifmiş gibi sunması ve eşdeğerliği olmayan belgeleri aynı kefeye koyması açık bir "yanlış yönlendirme" (dezenformasyon) pratiğidir. Kurumun, bu yanlış yönlendirmenin farkında olmasına rağmen nihai seçimi ve hukuki sorumluluğu "Uzman Mühendis"e bırakması, sektördeki kalite güvence sisteminin tamamen çöktüğünün kanıtıdır. Mühendisler, güvenilir referans kaynakları yerine doğrudan ticari yönlendirmelerle baş başa bırakılmaktadır.

7.5. Yayının Herkese Açık Paylaşımı ve Dezenformasyonun Çarpan Etkisi

İçeriğindeki majör mühendislik hatalarına ve sertifikasyon çelişkilerine rağmen, bu yayının sektör üzerindeki yıkıcı etkisi dağıtım stratejisiyle katlanarak artmıştır. İlgili meslek derneğinin kendi beyanlarına göre, söz konusu el kitabı ilk etapta 3000 adet basılarak sektör profesyonellerine fiziksel olarak dağıtılmıştır. Bununla yetinilmeyerek, kitabın dijital (PDF) versiyonu kurumun resmî web sitesi üzerinden hiçbir kısıtlama olmaksızın tüm sektör paydaşlarının açık erişimine sunulmuştur.

İçerisinde **"ağır yük kelepçesine sismik halat bağlanması"** gibi NFPA 13 Komite üyesinin dahi "kesinlikle kırılır" uyarısı yaptığı ölümcül montaj detaylarını ve ticari kaygılarla yazılmış sertifikasyon manipülasyonlarını barındıran bir belgenin binlerce kişinin doğrudan erişimine açılması, çok ciddi bir halk sağlığı ve yapı güvenliği meselesidir.

Özellikle mesleğe yeni başlayan mühendislerin, saha formenlerinin ve şartname hazırlayan ihale makamlarının bu yayını "güvenilir bir kılavuz" olarak bilgisayarlarına indirip projelerinde kopyala-yapıştır yöntemiyle kullanacak olması, sahadaki dezenformasyonun muazzam bir **"çarpan etkisi"** yaratmasına neden olmaktadır. Hatalı tasarım detaylarının resmi bir kurumun antetiyle ve ücretsiz erişim imkânıyla bu denli geniş çaplı yayılması, beklenen büyük depremler öncesinde Türkiye elektromekanik sektöründe telafisi imkânsız, kitlesel bir güvenlik zafiyeti doğurmaktadır [12, 13].

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye'de yangın tesisatlarının sismik korumasına yönelik yasal mevzuat, sertifikasyon süreçleri ve saha uygulamaları arasındaki derin uçurumlar somut belgelerle ortaya konmuştur. Deprem riski altındaki ülkemizde, binaların yangın güvenliğini sağlayan sistemlerin sismik dayanımı, ticari inisiyatiflere veya belge manipülasyonlarına terk edilemeyecek kadar hayati bir meseledir. Bu çalışmada sunulan resmi yazışmalar, güncel ihale şartnameleri, saha fotoğrafları ve sektörel yayın analizleri; yangın tesisatlarında sismik koruma adı altında yürütülen uygulamaların büyük bir kısmının "sertifikasyon illüzyonu" yarattığını ve teknik bir dezenformasyona dayandığını somut olarak kanıtlamaktadır.

Ulusal ve uluslararası mevzuatın kesin olarak emrettiği yangında kullanılabilir sertifikalı **(UL/FM)** sismik sertifikasyon zorunluluğunun; denetim boşlukları ve kopyala-yapıştır mühendisliğiyle manipüle edilerek yetersiz statik testlerin **(ASHRAE/TÜV)** ve onaysız ağır yük kelepçesi gibi standart dışı uygulamaların mesleki kılavuzlarda dahi meşrulaştırılması, sektördeki kalite güvence mekanizmasının tamamen çöktüğünü ve telafisi imkânsız güvenlik zafiyetleri yarattığını gözler önüne sermektedir. Mevzuatın açıkça **"sertifikalı ürün"** kullanımını zorunlu tutmasına rağmen, ticari inisiyatiflerin standartların önüne geçtiği, yüklenici ve tedarikçilerin sertifikasyonu **"zorunluluk değil, sadece güç katan bir unsur"** olarak yorumladığı görülmüştür.

Projelendirme aşamasındaki kopyala-yapıştır alışkanlıkları ve şartnamelerdeki manipülasyonların temelinde yatan en büyük yapısal sorun ise **"bağımlı danışmanlık"** modelidir.

20. SİSMİK KORUMA VE TİTREŞİM YALITIMI

a) Genel Hükümler

Türkiye deprem yönetmeliği ve deprem haritasına göre mekanik tesisat ve elektrik tesisatı için deprem tedbirleri alınacak olup, sismik askılama ve titreşim yalıtımı şartnamesinde belirtildiği şekilde alınacak tüm tedbirler anahtar teslim götürü bedele dahil olacaktır.

Bu kısımda yer alan tüm ürünler ve yapılan mühendislik çalışmaları, projede yer alan mekanik tesisatı ve bunlara bağlı ekipmanları olası bir depreme karşı korumak, deprem sonrasında da çalışır halde işlevlerini sürdürmelerini sağlamak; projede yer alan 560 W (0,75 HP) ve üzeri güçteki tüm ekipmanların çalışma esnasında yaydıkları titreşimin ve titreşimden dolayı oluşan gürültünün binaya geçmesini önlemek için yapılacaktır.

Temin edilecek tüm ürün ve hizmetler işin tek sorumlusu olması ve projelendirme, keşif, onay, saha uygulamaları etaplarının bir bütünlük içinde yürütülmesi gerekliliği yüzünden tek bir firma tarafından tedarik edilecektir.

İlgili firma, ürün tedariği ve doğru ürün seçimi yanında projelendirme hizmetleri, saha keşifleri, uygulama etabında supervizörlük hizmetleri ve işin sonunda yapılan kontroller ile projelendirilen ürünlerin doğru noktalarda doğru şekilde uygulandığını tespit etmek için gerekli raporların hazırlanmasından sorumludur.

Projelendirme etabında yapılacak hesaplar, hesaplara göre revize proje (gerekiyorsa), hazırlanacak tüm dokümantasyonlar tedarikçi firmanın konusunda uzman mühendisleri tarafından yapılacak, imzalanacak ve İşvereninin onayına sunulacaktır.

***Şekil 6** 3. Örnek (Proje Hizmeti Veren Firmanın Şartnamesi) 'de "Temin edilecek tüm ürün ve hizmetler... tek bir firma tarafından tedarik edilecektir" yazan ve süpervizörlüğü de aynı firmaya veren şartname görseli*

İhale şartnamelerine kasıtlı olarak eklenen *"ürün tedariki, projelendirme, süpervizörlük ve onay etaplarının tek bir firma tarafından yürütülmesi"* şartı, bağımsız denetim mekanizmasını tamamen ortadan kaldırmaktadır. Malzemeyi satan ticari bir firmanın; kendi sattığı ürünün projesini çizmesi, sahadaki montajını yine kendisinin denetlemesi ve işin sonunda kendi kendine onay vermesi açık bir çıkar çatışmasıdır. Bu durum, sismik güvenliği ticari tekellere kurban etmekte ve sahadaki ağır yük kelepçesi kullanımı gibi yanlışların üstünün örtülmesine neden olmaktadır.

Olası bir sismik aktivitede can ve mal kayıplarını önlemek adına şu adımların ivedilikle atılması gerekmektedir:

- **İdari Denetim- Denetim Boşluğunun Kapatılması:** AFAD ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yetki devrettiği yerel idareler ile yapı denetim firmaları, mekanik projelerde sismik hesapların ve kullanılacak ürünlerin uygunluk **(FM/UL vb. yangında kullanılabilir belgesi)** denetimlerini projelendirme aşamasında titizlikle yapmalıdır. Saha uygulamalarını salt evrak üzerinden değil, uluslararası yangın standartlarına **(NFPA 13, EN)** uygunluk ekseninde uzman ekiplerce sahada denetlemelidir.

- **Bağımsız Danışmanlık ve Süpervizörlük:** Sismik koruma projelendirmesi ve ürün seçimi, malzeme tedarikçilerinin ticari güdümünden çıkarılmalıdır. Sismik koruma projelerinin tasarımı, sismik yük hesaplamaları ve sahadaki montaj denetimleri, malzeme satışından ve tedarikinden tamamen bağımsız, tarafsız mühendislik firmaları tarafından yapılmalıdır. Ürün satan firmaların kendi ürünlerini denetlemesi ve onaylaması **(bağımlı danışmanlık)** uygulamasına derhal son verilmelidir. Sistem tasarımı ve onayı,

tamamen tarafsız, mühendislik etiğini merkeze alan **"Bağımsız Yangın veya Sismik Danışmanı"** mekanizmalarının denetimine tabi tutulmalıdır.

- **Şartname Standartları- Şartnamelerin Standardizasyonu:** Kamu ve özel sektör ihale şartnamelerinde; bölgesel **(OSHPD vb.)** veya yalnızca statik test içeren **(ASHRAE 171/TÜV)** gözetim belgeleri yerine, ulusal ve uluslararası yangın standartlarının **(UL Listeli / FM Onaylı)** gerektirdiği test normları yazılmalı, haksız rekabetin ve standart dışı ürün kullanımının önüne geçilmelidir.

- **Proje Kalitesinin Artırılması:** Uygulama projelerine eklenen sismik detay paftaları, standart şablonlar yerine projenin dinamiklerine ve onaylı ürün kataloglarına göre özel olarak hazırlanmalı; **"ağır yük kelepçesi"** kullanımı gibi standartlara aykırı detaylar projelerden derhal temizlenmelidir.

- **Sektörel Kılavuzların Revizyonu:** Sektörel dernekler, üniversiteler ve meslek odaları, sektörel yayın organları, literatüre giren hatalı sismik montaj görsellerini ve çelişkili el kitaplarını acilen yayından kaldırmalı; uluslararası normlara tam uyumlu, bilimsel ve bağımsız yeni referans kılavuzları hazırlamalıdır.

Sonuç olarak; yangın güvenlik sistemlerinde sismik koruma, bir **"evrak tamamlama"** prosedürü değil, tavizsiz bir mühendislik disiplinidir. Sektör, kâğıt üzerindeki bu tehlikeli oyunu sonlandırıp gerçek bir mühendislik yüzleşmesine acilen başlamak zorundadır.

Yangın güvenlik sistemlerinde sismik korumanın başarıya ulaşması ticari manipülasyonlara veya bağımlı danışmanlık illüzyonlarına değil, tavizsiz bir mühendislik disiplinine ve tarafsız etik değerlere bağlıdır. Beklenen büyük depremler öncesinde, sektördeki bu denetim boşluğunun giderilmesi ertelemeye gelmez bir milli güvenlik meselesidir.

9. KAYNAKLAR

[1] AFAD, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)", T.C. Resmî Gazete, 2019
[2] BAKANLAR KURULU, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)", T.C. Resmî Gazete, 2007 (ve güncel değişiklikleri)
[3] NFPA, "NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems", National Fire Protection Association, 2017, 2019 ve 2022
[4] CEN, "CEN/TS 18551:2021 Fixed firefighting systems - Automatic sprinkler systems - Part 3: Guidance for earthquake bracing", European Committee for Standardization, 2021
[5] ASHRAE, "ANSI/ASHRAE Standard 171-2017 Method of Testing for Rating Seismic and Wind Restraints", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017
[6] https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashraestandard1713018?srsltid=AfmBOor0U_XhUWMLCS-8j3paQM97iqv3zGzSlK-pjvfULFYGUntJjy7P
[7] TAUBY, J. R., LLOYD, R., "Practical Guide to Seismic Restraint", ASHRAE, 2. Baskı
[8] T.B.M.M., "4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu", T.C. Resmî Gazete, 2002
[9] KAMU İHALE KURUMU, "Yapım İşlerine Ait Tip Sözleşme ve Yapım İşleri Genel Şartnamesi", T.C. Resmî Gazete
[10] OSHPD, "Application for OSHPD Preapproval of Manufacturer's Certification (OPM-0052-14 ve OPM-0043-14)", California Office of Statewide Health Planning and Development, 2014
[11] KARA, O. A., "Yangın Tesisatında Kullanılması Zorunlu Olan Deprem Koruma Ürünlerinde Olması Gereken Sertifikalar", TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi, Sayı 20, s. 38-47, 2023
[12] KARA, O. A., "Kamuya Açık Binalarda Yangın Güvenliği Üzerinden Sismik Koruma Eksikliği Üzerine Teknik Bir Değerlendirme", Yangın ve Güvenlik Dergisi, Sayı 256, s. 48-52, 2025

[13] KARA, O. A., “Konaklama Amaçlı Tesislerde Yangın Güvenliği: Sismik Koruma Eksikliği ve Afet Anında Sistem Çalışabilirliğinin Önemi Üzerine Teknik Bir Değerlendirme”, TÜYAK 2025 Çalıştay- Konaklama Amaçlı Binalarda Yangın Güvenliği / LinkedIn Yayınları, 2025

10. ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan Ahmet KARA

1980 yılı Kahramanmaraş Andırın doğumludur. 2003 yılında lisans eğitimini bitirdikten sonra Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Makina Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimini tamamlamıştır. 2003-2006 Yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi ile Karabük Meslek Yüksek okulunda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2006 yılının Ekim ayından bu yana Ankara’da çeşitli firmalarda çalıştı. 2018 tarihinden beri TAURUS TEKNİK MÜHENDİSLİK DANIŞMANLIK firmasında elektromekanik sistemlere ait yapısal olmayan elemanların askı ve destek sistemleri konusunda mühendislik hesaplamaları yapmakta; bu sistemlerin sismik koruması üzerine danışmanlık, mühendislik, projelendirme, süpervizörlük ve kontrol hizmetleri sunmaktadır. Tarafsızlığının bir göstergesi olarak ürün satışı yapmamakta, yalnızca mühendislik hizmeti sağlamaktadır. Bu konularda ülkede yalnızca mühendislik hizmeti veren tek kişidir.

YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİNDE SİSMİK ASKILAMA TASARIMI VE GEREKLİLİKLERİ

Esra ERASLAN

ÖZET

Deprem etkisi altındaki yapılarda mekanik tesisat sistemlerinin güvenliğinin sağlanması, yapı bütünlüğünün korunması ve yangınla mücadele sistemlerinin işlevselliğinin devamı açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle sprinkler sistemleri, deprem sırasında oluşabilecek yatay ve düşey yükler nedeniyle hasar görebilmekte ve bu durum yangın anında sistemin çalışmamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, yangın söndürme sistemleri borulamlarında sismik askılama yöntemleri ile desteklenmesi gerekmektedir.

Avrupa'da standartlarındaki yeni düzenlemeler, yangın söndürme sistemlerinin deprem etkilerine karşı dayanımını artırmaya yönelik ilave gereklilikler getirmektedir. Bu kapsamda, boru hatlarının sabitlenmesi, sismik kuvvetlerin karşılanması ve sistem sürekliliğinin sağlanmasına ilişkin tasarım ve uygulama kriterleri yeniden tanımlanmıştır. Bu gereklilikler, mevcut uluslararası yönetmeliklerle bazı benzerlikler göstermekle birlikte, uygulama detayları açısından önemli farklılıklar içermektedir.

Bu çalışmada, sprinkler sistemlerinde sismik askılama gereklilikleri Avrupa'daki yeni standartlar çerçevesinde incelenmekte ve mevcut yönetmeliklerle karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, farklı tasarım yaklaşımları değerlendirilerek sistem güvenliği üzerindeki etkileri ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Avrupa standartları, deprem etkisi, sismik askılama, sprinkler sistemleri, yönetmelik karşılaştırması

SEISMIC BRACKETING DESIGN AND REQUIREMENTS IN FIRE SUPPRESSION SYSTEMS

ABSTRACT

Ensuring the safety of mechanical systems in buildings subjected to earthquake effects is crucial for maintaining structural integrity and ensuring the continued functionality of fire fighting systems. Sprinkler systems, in particular, can be damaged by horizontal and vertical loads during earthquakes, potentially causing system malfunction during a fire. Therefore, fire extinguishing systems require support through seismic bracing methods in their piping.

New regulations in European standards introduce additional requirements to increase the resistance of fire extinguishing systems to earthquake effects. In this context, design and application criteria for pipe fixing, seismic force resistance, and system continuity have been redefined. While these requirements share some similarities with existing international regulations, they also contain significant differences in terms of application details.

This study examines the seismic bracing requirements for sprinkler systems within the framework of new European standards and compares them with existing regulations. Furthermore, different design approaches are evaluated to reveal their impact on system safety.

Keywords: Earthquake effects, European standards, regulatory comparison, seismic bracing, sprinkler systems

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, yalnızca ana taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, kiriş, perde vb.) güvenliğini değil, aynı zamanda yapısal olmayan elemanların da deprem performansını kapsamaktadır. Özellikle mekanik tesisatlar ve yangın koruma sistemleri, deprem sırasında maruz kaldıkları dinamik etkiler nedeniyle can ve mal güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Sismik yükler altında boru hatlarında meydana gelen kontrolsüz salınımlar; boruların bina taşıyıcı elemanlarına çarpmasına, sprinkler başlıklarının asma tavan sistemleriyle temas ederek hasar görmesine ve boru bağlantı noktalarında (couplings/fittings) sızıntı veya kopma gibi ciddi arızalara yol açabilmektedir. Bu tür hasarlar, deprem sonrasında yangın söndürme sistemlerinin işlevini yerine getirememesine neden olarak afetin etkilerini daha da artırabilmektedir.

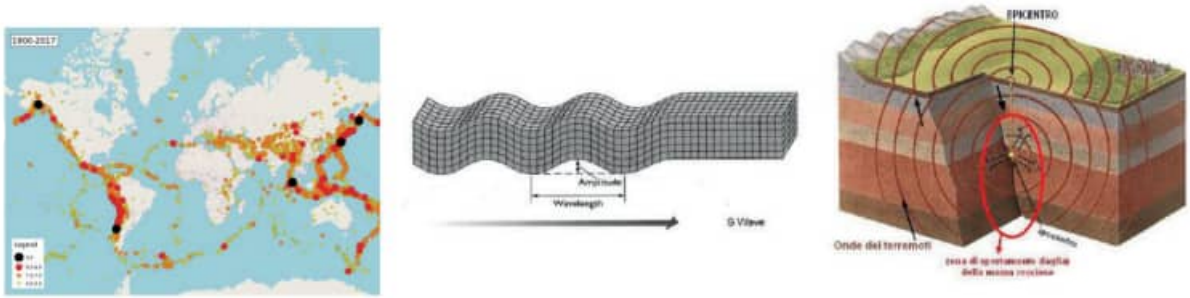
Avrupa-Akdeniz bölgesinde sprinkler (yağmurlama) sistemleri; dünya genelinde kullanılan üç ana standart olan CEN EN 12845, NFPA 13 ve FM 2-0 standartlarına göre tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada, deprem hareketlerinin mekanik tesisatlar üzerindeki etkileri temel alınarak sprinkler sistemlerinde uygulanan sismik koruma prensipleri incelenmekte; Avrupa ve uluslararası standartlar karşılaştırılmakta ve sismik tasarımda kullanılan hesaplama yöntemleri teknik açıdan değerlendirilmektedir.

2. YANGIN SÖNDÜRME TESİSATLARINDA SİSMİK RİSKLER VE KORUMA YÖNTEMLERİ

Deprem esnasında ortaya çıkan hiposantır ve episantır odaklı sismik dalgalar, zemin ivmesini (PGA - Peak Ground Acceleration) tetikler.

- Deprem: Yeraltındaki kaya kütlelerinin ani hareketleri sonucu oluşan ve enerji açığa çıkmasına yol açan, her yöne dalgalar halinde yayılan yer yüzeyi titreşimi.
- Hiposantr (Odak Noktası): Yeraltındaki hareketin ürettiği enerjinin yayıldığı kesin nokta
- Episantr (Dış Merkez): Hiposantrın yeryüzündeki dikey izdüşümü



Şekil 1. Deprem, hiposantr, episantr

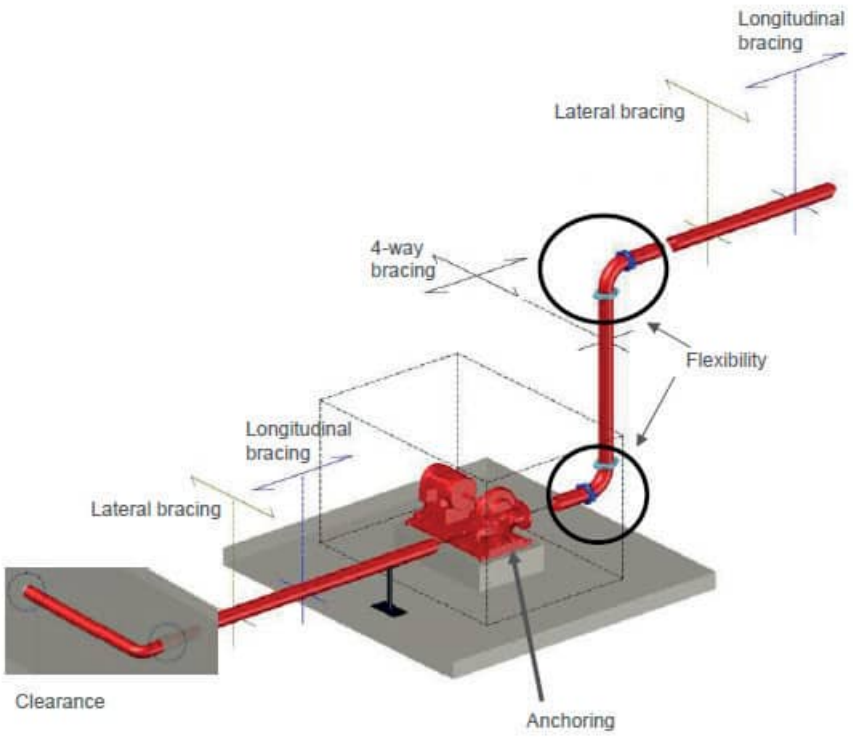
2.1. Deprem İvmesi ve Sprinkler Tesisatlarında Hasar Oluşumu

Sismik olaylar sırasında boru hatlarında meydana gelen temel hasarlar üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlardan ilki, boru hatlarının bina strüktürel elemanlarına, duvarlara veya çevre tesisat kanallarına temasıyla ortaya çıkan darbe ve çarpma hasarlarıdır. İkinci olarak, sistemde esnekliğin yetersiz olduğu kritik noktalarda meydana gelen bükülme ve burkulmalar, ek yerlerinin ayrılmasına ve dolayısıyla kırılma ile sızıntılara yol açmaktadır. Son olarak, asma tavanlar ile boru hatları arasındaki bağıl hareketler neticesinde sprinkler başlıklarının kırılması gerçekleşmekte, bu durum tesisatta ciddi debi kayıplarına ve bina genelinde kontrolsüz su basması hasarlarına sebebiyet vermektedir.

2.2. Sismik Korumanın Temel Unsurları

Sprinkler sistemlerinin sismik emniyetini sağlamak üzere 6 ana ilke uygulanır:

1. Yanal Askılama (Lateral Bracing): Boru eksenine dik yöndeki sallantıları sınırlamak.
2. Boylamasına Askılama (Longitudinal Bracing): Borunun kendi ekseni yönündeki eksenel hareketlerini engellemek.
3. Esneklik (Flexibility): Farklı sismik bloklar veya genleşme derzleri (expansion joints) geçişlerinde boru hattına hareket imkânı tanıyan esnek bağlantılar kullanmak.
4. Boşluk Bırakma (Clearance): Boruların duvar, tavan ve diğer sert yapı elemanlarına çarpmasını önleyecek açıklıkları bırakmak.
5. Güvenli Ankraj (Anchoring): Sismik yükleri doğrudan yapının ana taşıyıcı elemanlarına aktaracak doğru onaylı ankraj sistemleri tercih etmek.
6. Mühendislik ve Kontrol: Doğru yük hesapları ve sahada standartlara uygun montaj denetimi gerçekleştirmek.



Şekil 2. Yangın boru hatlarında temel sismik koruma ilkeleri ve askılama tipleri

3. STANDARTLAR VE HESAPLAMA METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dünya genelinde kullanılan NFPA 13 ve FM DS 2-8 standartları, uzun süredir sismik askı aralıklarını, yük dağılımlarını ve açıya bağlı kuvvet bileşenlerini tanımlamaktadır. Avrupa tarafında ise EN 12845 (otomatik sprinkler standardı) sismik detayları eksiklik barındırdığından, Kasım 2024'te yayımlanan EN 12845-3 normu ile bu eksiklik giderilmiş ve CEN üyesi ülkeler için bağlayıcı kılavuz haline getirilmiştir.

Söz konusu sismik riskin büyüklüğünü ölçmek için temel olarak iki parametre kullanılır:

Kısa Periyot Spektral İvme (SDS): Ağırlıklı olarak ABD bölgesinde kullanılır.

En Yüksek Yer İvmesi (PGA): Ağırlıklı olarak EMEA (Avrupa, Orta Doğu ve Afrika) bölgesinde kullanılır.

İkisi arasındaki temel fark şudur: PGA (olasılıksal bir analiz aracılığıyla) belirli bir tekerrür periyodunda beklenen maksimum yer ivmesini ölçerken; SDS (en basit tanımıyla) binanın maruz kaldığı ivmeyi temsil eder. Dolayısıyla bu iki parametre birbiriyle doğrudan değiştirilebilir değildir.

Sprinkler tesisatlarında sismik korumaya yönelik ABD standartları iki tanedir:

- NFPA 13
- FM 2-8

Bu iki standart, sismik korumayı önce ABD'de belirlemiş, ardından dünya geneline yayılarak içerikleri hemen her yerde kabul görmüştür. Bununla birlikte, ABD dışındaki bölgelerde kullanılmaları lokal uygulamalarda iki ana nedenden ötürü bazı sorunlar yaratabilmektedir:

ABD'nin sismik risk haritaları Kısa Periyot Spektral İvme (SDS) parametresine dayanmaktadır. Ancak Avrupa-Akdeniz bölgesindeki haritalar bu parametreyi esas almadığından, ABD dışındaki bölgelerde kullanılacak uygun bir değer bulmak zordur. Aynı durum FM Global için de geçerlidir: FM Global'in SDS tabanlı kendi küresel sismik tehlike haritası bulunsa da, bu harita mal hasarı ve iş durması risklerini de hesaba kattığından mevcut jeolojik haritalardan farklılık gösterebilir.

Hem NFPA 13 hem de FM 2-8 standartları sismik yükün büyüklüğünü Emniyet Gerilmeleri Tasarımı (ASD) yöntemine göre hesaplarken; Avrupa-Akdeniz bölgesinde Eurocode 8, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (LRFD) yaklaşımının kullanılmasını zorunlu kılar. LRFD yöntemi kullanımı biraz daha karmaşık olsa da daha hassas ve doğru sonuçlar sunar.

Tüm bunlar göz önüne alındığında, ABD standartlarını Avrupa-Akdeniz bölgesine uyarlamak bazen zor olmuştur. Bir yandan doğru sismik katsayıyı belirlemek güçleşirken, diğer yandan ABD gereksinimleri ve yaklaşımları yerel standartların spesifik şartlarıyla örtüşmemiştir.

Bu durum, Avrupa-Akdeniz bölgesi için Eurocode 8'e dayanan (ki Eurocode bunu açıkça şart koşar) ve yaklaşım olarak NFPA 13 ile FM 2-8'e benzeyen (yıllardır süren başarılı uygulamalarla geçerliliği kanıtlanmış) spesifik bir sismik tasarım metodolojisine ne kadar ihtiyaç duyulduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.

3.1. NFPA 13 Standart Gereksinimleri

NFPA 13 (*Standard for the Installation of Sprinkler Systems*), dünya genelinde yangın söndürme ve sprinkler sistemlerinin tasarımı ile sismik askılanmasında en yaygın kabul gören ABD kökenli standarttır. Tasarım felsefesi olarak sismik yüklerin ve askı elemanı kapasitelerinin doğrulanmasında ASD (*Allowable Stress Design* - Emniyet Gerilmeleri Tasarımı) yöntemini esas alan standart; yanal ve boylamasına sismik askı aralıklarını, boru çaplarına ve et kalınlıklarına bağlı maksimum mesafeleri net kurallarla tanımlar. Ayrıca sismik ivme yaklaşımında sismik kuvvet katsayılarını bölgeye özgü sismik risk haritalarına göre belirlemekte ve sismik mesnet açılarına göre elemanların taşıma kapasitelerini sunan detaylı tablolar sağlamaktadır.

3.2. FM Global (FM DS 2-8) Standart Gereksinimleri

FM DS 2-8 (*Earthquake Protection for Water-Based Fire Protection Systems*), FM Global sigorta şirketi ta-

rafından geliştirilmiş, özellikle yüksek riskli endüstriyel tesisler ve ticari binalar için katı kriterler içeren uluslararası bir sigorta standardıdır. Tasarım felsefesi olarak NFPA 13 ile benzer şekilde ASD (*Allowable Stress Design* - Emniyet Gerilmeleri Tasarımı) yaklaşımını temel almakla birlikte, emniyet katsayılarını ve yük kabullerini daha muhafazakar ve güvenli tarafta kalacak şekilde belirler. Öne çıkan temel farklarında ise sismik askı yük alanlarının (*Zone of Influence*) hesaplanmasında borunun ve içerisindeki suyun ağırlığına ilave olarak deprem anında oluşabilecek ek dinamik katsayıları dikkate alır ve sistem bileşenlerinde mutlaka onaylı ürün kullanımı (*FM Approved*) zorunluluğu getirir

3.3. EN 12845-3 Standart Gereksinimleri

EN 12845-3 (*Fixed firefighting systems - Automatic sprinkler systems - Part 3: Seismic bracing*), Kasım 2024 itibarıyla yürürlüğe girerek Avrupa'daki sismik askılama eksikliğini gideren ve eski CEN/TS 17551 teknik spesifikasyonunun yerini alan resmi Avrupa standardıdır. Tasarım felsefesi olarak Eurocode 8 ile tam uyumlu biçimde LRFD (*Load and Resistance Factor Design* - Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım) esaslarını uygulayan standart, Avrupa standartlarındaki rolü bakımından NFPA 13 ve FM DS 2-8'e Avrupa normlarında resmi bir alternatif ve bağlayıcı bir kılavuz oluşturmaktadır. Böylece CEN üyesi tüm ülkelerde sprinkler sismik askılamasının teknik altyapısını harmonize ederek tekil ve güçlü bir mühendislik zemini sağlar.

3.4. Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: ASD ve LRFD Dönüşümü

Mevcut Amerikan ve küresel standartlar ile yeni Avrupa standartları arasındaki en temel mühendislik farkı kullanılan hesaplama yönteminden kaynaklanmaktadır. NFPA 13 ve FM DS 2-8 standartlarında benimsenen ASD (*Allowable Stress Design* - Emniyet Gerilmeleri Tasarımı) yönteminde yükler artırılmadan doğrudan dikkate alınır ve malzeme dayanımı belirli bir emniyet katsayısına bölünerek izin verilen gerilme sınırları elde edilir. Buna karşın, Eurocode 8 ve EN 12845-3 standartlarının temelini oluşturan LRFD (*Load and Resistance Factor Design* - Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım) yönteminde ise yükler belirli güvenlik katsayıları ile büyütülürken malzeme taşıma kapasitesi azaltma katsayılarıyla düşürülerek sınır durum doğrulaması gerçekleştirilir. Bu iki farklı felsefe arasındaki uyumu sağlamak adına, ASD esaslı hesaplanan sismik kuvvetlerin (), LRFD esasına göre tasarlanmış Avrupa normlarındaki karşılığına () dönüştürülmesinde aşağıdaki bağıntı esas alınmaktadır:

$$F_{LRFD} = F_{ASD}/0.7$$

Bu dönüşüm formülü ile, Amerikan standartlarına (NFPA/FM) göre elde edilen tasarım yükleri LRFD seviyesine çekilerek Eurocode ve EN 12845-3 uyarınca sismik askı ve ankraj kapasiteleri doğrulanır.

3.5. EN 12845-3 Basitleştirilmiş Yöntem (Simplified Method)

EN 12845-3 standardı, karmaşık bina dinamiği analizlerine gerek duymadan sahadaki pratik uygulamalar için "Basitleştirilmiş Yöntem" tanımlar. Bu yöntemde, bölgenin pik yer ivmesi () parametresi temel alınarak, boru hattının birim metrajına düşen sismik kuvvet () doğrudan hesaplanabilir ve uygun askı aralıkları ile sismik mesnet tipleri belirlenebilir

Fa= 5.5 X a X S X Wa

(Burada a= Yer ivmesi, S: Zemin faktörü, Wa= Etki alanındaki su dolu boru ağırlığıdır)

4. UYGULAMA VE ANKRAJ GEREKLİLİKLERİ

Sprinkler boru hatlarında deprem kuvvetlerini güvenli şekilde bina strüktürüne aktarabilmek için kullanılan sismik askı sistemleri 4 ana grupta ele alınır:

- Yanal (Lateral) Askılar: Boru eksenine dik yöndeki salınımları engeller. Ana dağıtım hatlarında (main lines) ve yan hatlarda (branch lines) belirli aralıklarla konulması zorunludur.
- Boylamasına (Longitudinal) Askılar: Boru ekseni boyunca ortaya çıkan eksenel itme/çekme kuvvetlerini karşılar. Boru hattının uç noktalarda bükülmesini ve bağlantı elemanlarının kopmasını önler.
- 4 Yönlü (4-Way) Askılar: Dikey boru hatlarında (riser/kolon boruları) hem yanal hem de boylamasına sismik kuvvetleri aynı anda karşılamak üzere tasarlanmış karma askı sistemleridir.
- Hat Sonu Tutucuları (Branch Line Restraints): Küçük çaplı branşman hatlarının uç noktalarında dikey ve yanal salınımı sınırlamak için kullanılan tutuculardır.

4.1. Standartlara Göre Askılama Aralıkları

NFPA 13, FM DS 2-8 ve EN 12845-3 standartlarında boru hatlarının çapına, tipine ve sismik bölge ivmesine bağlı olarak tanımlanan maksimum sismik askı mesafeleri şu şekildedir:

- Yanal (Lateral) Sismik Askı Mesafeleri:

NFPA 13 & FM DS 2-8: Yanal sismik askılar arasındaki maksimum mesafe 12.2 metre (40 ft) olarak belirlenmiştir. Boru hattının başladığı veya yön değiştirdiği ilk bağlantı noktasından itibaren ilk yanal askı en fazla 1.8 metre (6 ft) mesafe içinde olmalıdır.

EN 12845-3 (Kasım 2024): Yanal askı aralıkları hesaplanan sismik kuvvete () ve boru rijitliğine bağlı olmakla birlikte, maksimum aralık 12 metre ile sınırlandırılmıştır.

Sprinkler Standardı	NFPA 13	FM 2-8	EN 12845-3
Ana Besleme Hattı (Main)	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar
Dağıtım Ana Hattı (Crossmain)	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar
Branşman Hatları (Branches)	≥ 21/2”	≥ 21/2”	≥ 21/2”
Boru Ucu Maksimum Mesafesi [m]	1.8 m	1.8 m	1.8 m
Maksimum Askı Aralığı (Span) [m]	12.2 m	12.2 m	12.0 m

Tablo 1. Yanal Sismik Askı Mesafeleri

- Boylamasına (Longitudinal) Sismik Askı Mesafeleri:

NFPA 13 & FM DS 2-8: Boylamasına sismik askılar arasındaki maksimum mesafe 24.4 metre (80 ft) olarak uygulanır. Hat sonundaki son boylamasına askı, hat dirseğinden/ucundan en fazla 12.2 metre (40 ft) uzaklıkta yer almalıdır.

EN 12845-3: Boylamasına askılarda maksimum mesafe 24 metre olarak tanımlanmıştır.

Sprinkler Standardı	NFPA 13	FM 2-8	EN 12845-3
Ana Besleme Hattı (Main)	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar
Dağıtım Ana Hattı (Crossmain)	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar	Tüm Çaplar
Branşman Hatları (Branches)	≥ 21/2”	≥ 21/2”	≥ 21/2”
Boru Ucu Maksimum Mesafesi [m]	12.2 m	12.2 m	12.0 m
Maksimum Askı Aralığı (Span) [m]	24.4 m	24.4 m	24.0 m

Tablo 2. Boylamasına Sismik Askı Mesafeleri

- Dikey Borulama (Riser / Kolon) Askılama Mesafeleri:

Dikey boru hatlarında (riser) her 6 metrede (20 ft) bir veya her kat geçişinde 4 yönlü (4-way) sismik askı kullanılması zorunludur. Dikey hattın en üst ve en alt dönüş dirseklerinden itibaren 0.9 metre (3 ft) mesafe içerisinde 4 yönlü sismik mesnet bulunmalıdır.

Sprinkler Standardı	NFPA 13	FM 2-8	EN 12845-3
Boru Ucundan Maksimum Mesafe [m]	0.6 m	0.6 m	0.6 m
Maksimum Askı Aralığı [m]	7.6 m	7.6 m	12.0 m

Tablo 3. Riser Askılama Mesafeleri

- Hat Sonu Tutucuları (Branch Line Restraints):

Branşman hatlarının sonundaki sprinkler başlığının salınım yapıp tavanı kırmasını önlemek için hat sonundan en fazla 30 cm ila 90 cm (12 - 36 inç) mesafe içinde sismik tutucu/askı yerleştirilmelidir.

Sprinkler Standardı	NFPA 13	FM 2-8	EN 12845-3
Uygulama Konfigürasyonu	Tümü	Açık Uçlu Hatlar	Tümü
Boru Uçlarından Maksimum Mesafe [m]	Boru çapına bağlı: • 0,9 m (DN25) • 1,2 m (DN32) • 1,5 m (DN40–DN50)	1.8 m	Boru çapına bağlı: • 0,9 m (DN25) • 1,2 m (DN32-DN50)
Maksimum Tutucu Aralığı [m]	Boru çapına, malzemesine ve Cp sismik katsayısına bağlıdır	-	24.0 m
Diğer Gereksinimler	Askı rotu uzunluğu <150 mm ise tutucu gerekmez	Her bir bileşen en az 0,67 kN yük taşıma kapasitesine sahip olmalıdır	Askı rotu uzunluğu <150 mm ise tutucu gerekmez

Tablo 4. Hat Sonu Askılama Mesafeleri

5. SONUÇ

EN 12845-3 Standardı, sprinkler tesisatları ve diğer sulu yangın söndürme sistemlerinin sismik tasarımına yönelik kapsamlı bir mühendislik yaklaşımı sunmaktadır. Standart; sismik yüklerin hesaplanması, askı ve mesnet tasarımı, esneklik gereklilikleri ve yapısal boşluk kriterlerini tanımlayarak güvenilir bir sismik tasarım altyapısı oluşturmaktadır.

Uzun yıllardır bu alanda NFPA 13 ve FM DS 2-8 standartları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kasım 2024'te yayımlanan EN 12845-3 standardı ise Avrupa'da Eurocode 8 ile uyumlu, bağlayıcı bir sismik tasarım çerçevesi sunarak CEN/TS 17551 teknik spesifikasyonunun yerini almıştır. Böylece Avrupa'da yangın koruma sistemlerinin sismik tasarımına yönelik ortak bir standart oluşturulurken, NFPA 13 ve FM DS 2-8 uluslararası uygulamalardaki önemini korumaya devam etmektedir

6. KAYNAKLAR

[1] NFPA 13, *"Standard for the Installation of Sprinkler Systems"*, National Fire Protection AssociationEN15004-1 Fixed Fire Extinguishing System-Gas Extinguishing System

[2] FM Global DS 2-8, *"Earthquake Protection for Water-Based Fire Protection Systems"*, Factory Mutual SysteVdS Guidelines for Fire Extinguishing Systems

[3] EN 12845-3:2024, *"Fixed firefighting systems - Automatic sprinkler systems - Part 3: Seismic bracing"*, CEN (Kasım 2024

[4] Şekil için; USGS (United States Geological Survey). (2017). *Global Earthquake Search and Seismicity Maps (1900-2017)*. U.S. Department of the Interior.

[5] Şekil için; IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). (2020). *S Waves / Shear Waves Propagation Model*. Educational Resources.

[6] Şekil için; INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). (2018). *Anatomia di un terremoto: Ipocentro, epicentro e propagazione delle onde.*

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Esra ERASLAN

1994'de Ankaral'da doğdu. 2013 yılında Yahya Kemal Beyatlı Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden mezun olarak meslek hayatına başlamıştır. Yangın söndürme sistemleri üzerine çalışmaya 2018 yılında başlamış olup 2023 yılından beri Viking Turkey Yangın Korunum Sistemleri firmasında Yangın Söndürme Sistemleri üzerine Teknik Destek Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

YANGIN GÜVENLİĞİ SÜREÇLERİNİN PROJE YÖNETİMİ PERSPEKTİFİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hüseyin Caner YILDIRIM

Özet

Yangın güvenliği süreçleri; risk değerlendirmesi, mevzuat ve standartlara uyum, tasarım koordinasyonu, sistem seçimi, disiplinler arası entegrasyon, uygulama, test ve devreye alma, eğitim ve sürekli iyileştirme gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda faaliyeti içermektedir. Buna karşın bu süreçler çoğu zaman yalnızca teknik uygunluk veya yasal gereklilik çerçevesinde ele alınmakta, yönetimsel boyutları yeterince sistematik biçimde değerlendirilememektedir. Oysa yangın güvenliği çalışmaları; kapsamın tanımlanması, paydaş beklentilerinin yönetilmesi, risk ve belirsizliklerin ele alınması, kaynakların koordine edilmesi, değişikliklerin kontrolü ve çıktıların doğrulanması gibi proje yönetiminin temel unsurlarını da içermektedir.

Bu bildiride, yangın güvenliği süreçleri proje yönetimi perspektifiyle ele alınmaktadır. Çalışmada, yangın güvenliği uygulamalarının yalnızca teknik bir uzmanlık alanı değil; aynı zamanda planlama, koordinasyon, iletişim, izleme, karar alma ve sürekli iyileştirme gerektiren çok paydaşlı bir yönetim alanı olduğu değerlendirilmektedir. Bu kapsamda süreçler; başlangıç, planlama, uygulama, izleme-kontrol ve kapanış mantığı içinde incelenmekte, teknik karar noktaları ile yönetsel gereklilikler birlikte ele alınmaktadır.

Bildiride ayrıca geleneksel, çevik ve hibrit yaklaşımların yangın güvenliği süreçlerindeki yeri tartışılmaktadır. Sonuç olarak, proje yönetimi yaklaşımının yangın güvenliği süreçlerine entegre edilmesinin iletişim etkinliği, izlenebilirlik, koordinasyon ve uygulama başarısına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın güvenliği, proje yönetimi, risk yönetimi, paydaş yönetimi, çevik yaklaşım, hibrit yaklaşım.

EVALUATION OF FIRE SAFETY PROCESSES FROM A PROJECT MANAGEMENT PERSPECTIVE

Abstract

Fire safety processes involve numerous interrelated activities, including risk assessment, compliance with legislation and standards, design coordination, system selection, interdisciplinary integration, implementation, testing and commissioning, training, and continuous improvement. However, these processes are often addressed solely within the context of technical compliance or legal requirements, while their managerial dimensions are not evaluated in a sufficiently systematic manner. Fire safety activities also incorporate fundamental project management elements such as defining the scope, managing stakeholder expectations, addressing risks and uncertainties, coordinating resources, controlling changes, and verifying outputs.

This paper examines fire safety processes from a project management perspective. Fire safety practices are considered not only as a field of technical expertise but also as a multi-stakeholder management area

requiring planning, coordination, communication, monitoring, decision-making, and continuous improvement. Within this context, the processes are examined through the logic of initiation, planning, execution, monitoring and control, and closing, while technical decision points and managerial requirements are considered together.

The paper also discusses the role of traditional, agile, and hybrid approaches in fire safety processes. Integrating a project management perspective into fire safety processes may contribute to communication effectiveness, traceability, coordination, and implementation success.

Keywords: Fire safety, project management, risk management, stakeholder management, agile approach, hybrid approach.

1. GİRİŞ

Yangın güvenliği; yangınların önlemesi ve oluştuğu taktirde varlık ve can güvenliğinin korunması, iş sürekliliğinin sağlanması ile çevresel etkilerinin sınırlandırılması bakımından yapı, bina, tesis ve işletmenin risk yönetimi alanlarından birisidir. Bu alan, tek bir sürecin ürünü değil; risk değerlendirmesi, mevzuat uyumu, tasarım ve uygulama koordinasyonu, devreye alma ve sürekli iyileştirmeye uzanan, birbirine bağımlı çok sayıda faaliyetin bütünüdür.

Yangın güvenliği genellikle mevzuat uyumu ekseninde ele alınmakla birlikte aynı zamanda performansa dayalı tasarımı, tasarım planlarının uygulanmasını ve yangın güvenliği yönetimini birbirine bağlayan bütünleşik bir süreç olarak tanımlamaktadır [1]. Türkiye'de bu sürecin yasal çerçevesi, tasarım, yapım, kullanım, bakım ve işletim esaslarını birlikte düzenleyen ilgili ulusal mevzuat ile belirlenmektedir [2]. Bu tanım ve düzenlemeler, teknik doğruluğun tek başına yeterli olmadığını; sistemlerin kurulum, işletme ve bakım koşullarının da tasarım hedeflerine ulaşılıp ulaşılamayacağını belirlediğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte sahada karşılaşılan aksaklıkların önemli bir kısmı; kapsamın eksik tanımlanmasından, sorumlulukların belirsiz kalmasından, paydaşların sürece geç dahil edilmesinden, değişikliklerin kayıt altına alınmamasından veya işletme ile bakım gereksinimlerinin tasarım aşamasında göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tür aksaklıklar, esasen yönetsel nitelikli sorunlardır ve proje yönetimi disiplininin doğrudan ilgi alanına girmektedir.

Proje yönetimi perspektifi, kapsamın tanımlanması, paydaş beklentilerinin yönetilmesi, kaynakların koordinasyonu, risk ve belirsizliklerin ele alınması, değişikliklerin kontrolü ve çıktıların doğrulanması için sistematik ve sınanmış bir çerçeve sunmaktadır [3]. Bu çalışmada, söz konusu çerçeve; yangın güvenliği alanında yürütülen Tasarım, Kurulum, İşletme ve Bakım faaliyetlerini ifade etmek üzere TaKİB kısaltmasıyla adlandırılacağımız yapıyla ilişkilendirilecektir.

Çalışmanın amacı, uluslararası proje yönetimi literatüründe tanımlanan zihniyet ve davranışlar, temel ilkeler, performans alanları ve odak alanları yapısını [3] TaKİB süreçlerinin teknik gerekliliklerıyle ilişkilendirerek, yangın güvenliği çalışmalarının nasıl yönetildiğini görünür hâle getiren kavramsal bir çerçeve sunmaktır. Bu kapsamda ayrıca proje geliştirme yaklaşımları olarak geleneksel, çevik ve hibrit teslim yaklaşımlarının TaKİB aşamalarındaki uygulanabilirliği değerlendirilecektir.

2. YANGIN GÜVENLİĞİ SÜREÇLERİNİN TEKNİK ÇERÇEVESİ

Yangın güvenliğine yönelik yeni sistem kurulumu, yenileme ve iyileştirme çalışmaları; belirli bir amaç, kapsam, kaynak, zaman ve teslimat içermeleri nedeniyle proje niteliği taşıyabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, söz konusu faaliyetlerin teknik omurgası Tasarım, Kurulum, İşletme ve Bakım aşamalarını ifade eden TaKİB yapısı üzerinden ele alınmaktadır; bu dört aşama, Türkiye'de yürürlükteki ilgili ulusal mevzuatın öngördüğü tasarım, yapım, kullanım ve bakım esaslarıyla da örtüşmektedir [2]. TaKİB aşamaları Şekil 1'de gösterildiği gibi doğrusal ve birbirinden bağımsız değildir; tasarım kararları kurulum ve kullanım koşullarını, işletme ve bakım sırasında elde edilen bulgular ise sonraki tasarım ve iyileştirme kararlarını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 1 Tasarım, kurulum, işletme ve bakım süreçlerinin yangın güvenliği kapsamında gösterimi

2.1. Tasarım

Tasarım aşamasında korunma hedefleri, yangın senaryoları, performans kriterleri ve ilgili mevzuat ile standart gereklilikleri belirlenir; algılama ve ihbar, söndürme, duman ve basınç kontrolü, kaçış güvenliği, pasif yangın güvenliği ve acil durum düzenlemeleri birbiriyle uyumlu biçimde ele alınır. Çözümlerin sonraki aşamalarda güvenilir biçimde uygulanabilmesi için kurulabilir, test edilebilir, işletilebilir ve bakım yapılabilir olması, tasarımın teknik değerlendirme kriterleri arasında yer almalıdır.

2.2. Kurulum

Kurulum, onaylanmış tasarımın sahada fiziksel ve işlevsel bir çözüme dönüştürüldüğü aşamadır. Ekipman uygunluğu, montaj kalitesi ve tasarım dokümanlarına uyumun yanında, kurulumun tamamlanması sistemin hazır olduğu anlamına gelmez; işlevsel testler, ara yüz doğrulamaları ve uygunsuzlukların kapatılması gerekir. İlgili bir standart, devreye alma faaliyetlerini tasarım amacının ve sistem performansının doğrulanmasına yönelik sistematik bir kalite güvence süreci olarak tanımlamaktadır [4].

2.3. İşletme

İşletme aşamasında sistemlerin ve organizasyonel tedbirlerin, gerçek kullanım koşullarında beklenen fonksiyonu yerine getirebilecek durumda tutulması esastır. Kullanım amacı, proses koşulları, personel sayısı veya kaçış yollarındaki değişiklikler mevcut önlemlerin yeterliliğini etkileyebileceğinden, bu değişikliklerin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi işletme sürecinin sürekli bir gerekliliğidir.

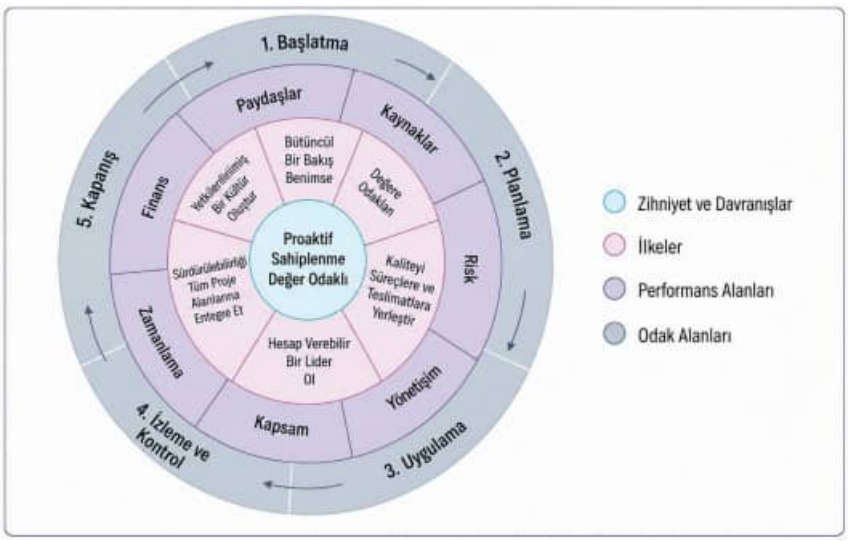
2.4. Bakım

Bakım, sistemlerin tasarlanan performansını zaman içinde korumaya yönelik muayene, test, onarım ve yenileme faaliyetlerini kapsar. İlgili bir başka standart, su bazlı yangın koruma sistemleri için bu faaliyetleri sistem bütünlüğünün korunmasına yönelik temel gereklilikler olarak tanımlamakta olup [5], benzer mantık diğer aktif ve pasif sistemler için de geçerlidir. Varlıklardan değer elde edilmesi; maliyet, risk ve performans arasında denge kurulmasını gerektiren koordineli bir faaliyet olarak kabul edersek [6]; bu yaklaşım, yangın güvenliği sistemlerinin bakımının da yalnızca arıza yönetimi ile birlikte sistemin yaşam döngüsü boyunca değerinin korunması olarak ele alınmasını destekler. Bakım kayıtları -tekrarlayan arızalar, yanlış alarmlar, yedek parça sorunları- aynı zamanda sonraki tasarım ve yenileme kararları için değerli bir geri bildirim kaynağıdır.

3. PROJE YÖNETİMİ PERSPEKTİFİ

Proje yönetimi, belirli süreçlerin sıralı biçimde uygulanmasından veya zaman, maliyet ve kapsam hedeflerinin izlenmesinden daha geniş bir yönetim yaklaşımını ifade etmektedir. Proje yönetimi perspektifi; projeye yön veren zihniyet ve davranışlar, bunları destekleyen temel ilkeler, proje boyunca sürekli yönetilmesi gereken performans alanları ve proje faaliyetlerinin yürütülmesini sağlayan odak alanları ile süreçlerden oluşan ilişkili bir yapı içerisinde ele alınmaktadır [3].

Proje yönetimi perspektifi Şekil 2'de gösterildiği gibi, ilke ve performans alanı temeli ile birlikte süreç odaklı bir uygulama katmanı ekleyerek dört katmanlı bütünleşik bir yapı sunmaktadır: merkezde proje çalışmalarına yön veren zihniyet ve davranışlar, bunu çevreleyen altı temel ilke, sürekli yönetim gerektiren yedi performans alanı ve çalışmaların operasyonel yürütülmesini sağlayan beş odak alanı [3].



Şekil 2 Proje yönetimi perspektifi kapsamının gösterimi

3.1. Zihniyet ve Davranışlar

Proje yönetimi perspektifinin merkezinde proaktif olma, sahiplenme ve değer odaklılık yer almaktadır. Proaktif olma, riskleri, bağımlılıkları ve olası sapmaları erken aşamada belirlemeyi; sahiplenme, kararların ve sonuçların açık bir sorumluluk anlayışıyla ilişkilendirilmesini; değer odaklılık ise faaliyetlerin yalnızca teslimat üretmesini değil, paydaşlar için anlamlı ve sürdürülebilir sonuçlar oluşturmasını ifade eder [3].

3.2. Temel İlkeler

Proje yönetimi zihniyeti ve davranışlarını çevreleyen ikinci katman altı temel ilkeden oluşmaktadır. Bu ilkeler; bütüncül bir bakış açısı benimsemek, değere odaklanmak, kaliteyi süreçlere ve teslimatlara yerleştirmek, hesap verebilir bir lider olmak, sürdürülebilirliği proje alanlarına entegre etmek ve yetkilendirilmiş bir kültür oluşturmak şeklinde ifade edilmektedir [3].

3.3. Performans Alanları

Proje boyunca sürekli yönetim gerektiren yedi performans alanı; Yönetişim, Kapsam, Zamanlama, Finans, Paydaşlar, Kaynaklar ve Risk olarak tanımlanmaktadır [3]. Performans alanları yalnızca belirli bir proje aşamasında ele alınan faaliyet grupları değildir. Projenin ilerlemesiyle birlikte bu alanların durumu değişebilmekte ve bir performans alanındaki gelişme diğer alanları etkileyebilmektedir. Örneğin kapsamda meydana gelen bir değişiklik zamanlama, finans, kaynak ve risk alanlarında yeni değerlendirmeler gerektirebilir. Benzer şekilde kaynak yetersizliği zamanlamayı, paydaş beklentilerindeki değişiklik ise kapsam kararlarını etkileyebilir.

3.4. Odak Alanları ve Süreçler

Proje çalışmalarının yürütülmesi için başlangıç, planlama, uygulama, izleme ve kontrol ile kapanış olmak üzere beş odak alanı tanımlanmıştır; bu alanlar içinde performans alanlarıyla ilişkilendirilmiş alt süreçler barındırmaktadır [3]. Öngörücü projelerde bu alanlar daha belirgin bir sırayla izlenirken, çevik ve hibrit uygulamalarda planlama, uygulama ve izleme-kontrol faaliyetleri yinelemeli biçimde iç içe geçebilir; bu nedenle odak alanları katı bir doğrusal sıra değil, projenin niteliğine göre uyarlanabilen çalışma alanları olarak değerlendirilmelidir.

4. PROJE YÖNETİMİ PERSPEKTİFİNDEN TAKİB SÜREÇLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Proje yönetimi perspektifi TaKİB süreçlerine yeni bir teknik yöntem önermekten ziyade, mevcut teknik çalışmaların proaktif, sahiplenilen ve değer odaklı bir yönetim anlayışı içerisinde karar alma, sorumluluk, kapsam, zamanlama, kaynak, paydaş, finans ve risk gibi yönetsel boyutlar ile yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda proje yönetimi ilkeleri ve performans alanları, TaKİB'in her aşamasında farklı ağırlıklarda karşılık bulmakta; başlatma, planlama, uygulama, izleme-kontrol ve kapanış odakları ise gerçekleştirilen çalışmanın niteliğine göre kullanılabilmektedir [3].

4.1. Tasarım Sürecinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Ele Alınması

Tasarım sürecine proje yönetimi perspektifinden bakıldığında, yalnızca teknik çıktının oluşturulması değil; hangi ihtiyacın karşılanacağı, kapsamın sınırları, tasarım kararlarının sahipliği, ilgili paydaşların katılımı ve alınan kararların sonraki TaKİB aşamalarına etkileri birlikte değerlendirilmelidir.

Proaktif yaklaşım; yangın tehlikelerinin, mevzuat ve standart gereksinimlerinin, sistem arayüzlerinin, işletme koşullarının ve bakım gereksinimlerinin tasarımın erken aşamalarında ele alınmasını gerektirir. Böylece kurulum veya işletme sırasında ortaya çıkabilecek yüksek maliyetli değişikliklerin ve performans kayıplarının azaltılması mümkün olabilir.

Tasarımın başarısı yalnızca teknik dokümanların tamamlanmasına değil, ortaya konulan çözümün yangın güvenliği açısından değer üretmesine bağlıdır. Bu nedenle can güvenliği, mal varlığının korunması, iş sürekliliği, işletilebilirlik ve bakım yapılabilirlik gibi sonuçların tasarım kararlarında birlikte değerlendirilmesi gerekir. Tasarım kararlarının ve onaylarının açık şekilde sahiplenilmesi ise disiplinler arası koordinasyonun ve kararların izlenebilirliğinin güçlendirilmesine katkı sağlayabilir.

4.2. Kurulum Sürecinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Ele Alınması

Kurulum sürecinde proje yönetimi perspektifi; teknik uygulamanın zamanlama, tedarik, kaynak, kalite, maliyet, yüklenici yönetimi ve değişiklik kontrolü gibi yönetim boyutlarıyla birlikte ele alınmasını gerektirir. Tasarımda belirlenen gereksinimlerin sahaya aktarılması sırasında ortaya çıkan sapmaların hem proje hedefleri hem de yangın güvenliği performansı üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır.

Saha koşullarının tasarım varsayımlarından farklı olması, disiplinler arası çakışmalar, ekipman tedarikindeki gecikmeler veya uygulama sırasında ortaya çıkan değişiklik ihtiyaçları proje hedeflerini ve yangın güvenliği performansını etkileyebilir. Bu nedenle sorunların yalnızca gerçekleştikten sonra giderilmesi yerine, kritik uygulama noktalarının önceden belirlenmesi, kalite kontrol ve doğrulama faaliyetlerinin planlanması ve değişikliklerin teknik etkilerinin değerlendirilmesi proaktif yaklaşımın kurulumdaki karşılığını oluşturmaktadır.

Kurulum sürecinde sahiplenme özellikle önemlidir. Tasarımdan sapmaların kim tarafından değerlendirileceği, uygunsuzlukların kim tarafından kapatılacağı ve sistemlerin hangi kabul kriterleri doğrultusunda teslim alınacağı açık olmalıdır. Değer odaklı yaklaşım açısından ise başarı, ekipmanın sahaya monte edilmesiyle değil; tasarım amacını karşılayan, test edilmiş, doğrulanmış ve işletilebilir bir sistemin teslim edilmesiyle değerlendirilmelidir.

4.3. İşletme Sürecinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Ele Alınması

İşletme sürecine proje yönetimi perspektifinden bakıldığında, kurulumun tamamlanmasıyla yönetim ihtiyacının sona ermediği görülmektedir. Kullanım amacı, proses koşulları, insan kaynağı, organizasyon yapısı veya fiziksel ortamda meydana gelen değişiklikler mevcut yangın güvenliği düzenlemelerinin etkinliğini etkileyebileceğinden, yönetişim, sorumluluk, paydaş katılımı ve risk yönetimi işletme boyunca önemini korumaktadır.

Proje yönetimi perspektifinden işletme aşamasında yönetişim, paydaş katılımı, kaynaklar, riskler ve sorumlulukların yönetimi ön plana çıkmaktadır. Sistemlerin devre dışı kalması, değişikliklerin uygulanması, eğitim ve tatbikatların gerçekleştirilmesi ve uygunsuzlukların giderilmesi gibi faaliyetlerde karar ve sorumlulukların açık biçimde tanımlanması sahiplenme kültürünü desteklemektedir.

Proaktif yaklaşım, işletme değişikliklerinin yangın güvenliği üzerindeki etkilerinin olay meydana geldikten sonra değil, mümkün olduğunca değişiklik öncesinde değerlendirilmesini gerektirir. Değer odaklılık açısından ise yangın güvenliği sistemlerinin fiziksel olarak mevcut olması tek başına yeterli değildir; sistemlerin, prosedürlerin ve görevli personelin gerçek bir acil durumda beklenen güvenlik performansını sağlayabilecek durumda olması önem taşımaktadır.

4.4. Bakım Sürecinin Proje Yönetimi Perspektifiyle Ele Alınması

Bakım sürecinde proje yönetimi perspektifi, periyodik faaliyetlerin yalnızca iş emri bazında tamamlanmasından öte; sistem performansının korunmasına yönelik planlı, sorumlulukları belirli ve izlenebilir bir çalışma biçimini desteklemektedir. Kaynakların, önceliklerin, uygunsuzlukların ve yenileme ihtiyaçlarının birlikte değerlendirilmesi bakım faaliyetlerinin yangın güvenliği hedefleriyle bağını güçlendirmektedir.

Proaktif yaklaşımın bakım sürecindeki temel karşılığı, arızanın meydana gelmesini beklemek yerine muayene, test, bakım ve performans verilerinin kullanılmasıyla bozulma eğilimlerinin erken belirlenmesidir. Tekrarlayan arızalar, yanlış alarm kayıtları, test başarısızlıkları ve yedek parça sorunları yalnızca bakım problemi olarak değil, sonraki tasarım ve yatırım kararlarına girdi oluşturabilecek veriler olarak değerlendirilmelidir.

Sahiplenme açısından bakım programlarının yürütülmesi, uygunsuzlukların kapatılması, sistemlerin devre dışı kalma sürelerinin yönetilmesi ve yenileme kararlarının sorumluları açık biçimde tanımlanmalıdır. Değer odaklı yaklaşımda ise bakımın başarısı yalnızca faaliyetlerin zamanında gerçekleştirilmesiyle değil, yangın güvenliği sistemlerinin beklenen performansının korunmasıyla ölçülmelidir.

5. GELENEKSEL, ÇEVİK VE HİBRİT PROJE GELİŞTİRME YAKLAŞIMLARININ YANGIN GÜVENLİĞİ SÜREÇLERİNDE KULLANIMI

Yangın güvenliği süreçleri; kapsamın açıklığı, teknik gereksinimlerin değişkenliği, paydaş sayısı, saha koşulları, mevzuat ve standartların bağlayıcılığı, değişiklik maliyeti ve geri bildirim ihtiyacı açısından birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir. Bu nedenle tüm yangın güvenliği çalışmalarının tek bir proje yönetimi yaklaşımıyla yürütülmesi yerine, çalışmanın niteliğine uygun teslim ve yönetim yaklaşımının seçilmesi daha uygun olacaktır.

Proje yönetiminde geleneksel, çevik ve hibrit yaklaşımlar; planlama düzeyi, değişikliklere yaklaşım, teslimatların oluşturulma biçimi ve paydaş geri bildirimlerinin projeye nasıl dâhil edildiği bakımından farklılık göstermektedir. Yangın güvenliği açısından bu yaklaşımların kullanımı, teknik ve mevzuata ilişkin gerekliliklerden taviz verilmesi anlamına gelmemekte; bu gerekliliklere ulaşmak için izlenecek yönetim yönteminin projenin özelliklerine göre uyarlanmasını ifade etmektedir.

5.1. Geleneksel Yaklaşım

Geleneksel veya öngörücü proje yönetimi yaklaşımında projenin kapsamı, gereksinimleri, teslimatları ve temel çalışma planı mümkün olduğunca erken aşamalarda belirlenmektedir. Faaliyetler önceden oluşturulan plan doğrultusunda yürütülmekte; kapsam, zamanlama, maliyet ve kaynak kullanımındaki değişiklikler kontrollü biçimde yönetilmektedir. Bu yaklaşım özellikle gereksinimlerin açık biçimde tanımlanabildiği, teslimatların önceden öngörülebildiği ve sonradan yapılacak değişikliklerin yüksek maliyet veya teknik etki oluşturabileceği projelerde uygun bir yapı sağlamaktadır.

Yangın güvenliği projelerinin önemli bir bölümü, mevzuat, standartlar, teknik şartnameler ve tasarım kriterleriyle güçlü biçimde tanımlanmış gereksinimler içermektedir. Otomatik yağmurlama sistemleri, yangın pompaları, yangın algılama ve ihbar sistemleri, duman ve basınç kontrol sistemleri, sabit söndürme sistemleri ve benzeri uygulamalarda tasarım kriterlerinin, ekipman gereksinimlerinin, test ve kabul şartlarının proje öncesinde önemli ölçüde belirlenebilmesi mümkündür. Bu tür projelerde geleneksel yaklaşım; teknik gereksinimlerin başlangıçta tanımlanması, tasarımın onaylanması, tedarik ve uygulamanın planlanması ve sistemin belirlenen kabul kriterleri doğrultusunda devreye alınması açısından avantaj sağlayabilir.

Bununla birlikte yangın güvenliği projelerinde tüm koşulların başlangıçta tam olarak öngörülebilmesi her zaman mümkün değildir. Mevcut tesislerde yürütülen çalışmalar, sahada ortaya çıkan fiziksel kısıtlar, işletme koşullarındaki değişiklikler veya disiplinler arası etkileşimler planın yeniden değerlendirilmesini gerektirebilir. Bu nedenle geleneksel yaklaşımın katı biçimde uygulanması yerine, gerekli durumlarda kontrollü uyarlamalara olanak sağlayacak bir yönetim yapısının korunması önemlidir.

5.2. Çevik ve Yinelemeli Yaklaşım

Çevik yaklaşım, kapsam ve çözümün tüm ayrıntılarının başlangıçta kesin olarak belirlenmediği veya kullanıcı ve paydaş geri bildirimlerinin çözümün geliştirilmesinde önemli rol oynadığı projelerde kullanılan yinelemeli ve artımlı bir çalışma biçimidir. Çalışmalar daha küçük parçalar hâlinde ele alınmakta, kısa geri bildirim döngüleri oluşturulmakta ve elde edilen sonuçlara göre sonraki adımlar uyarlanabilmektedir. Bu yaklaşımın temelinde değişiklikleri yalnızca kontrol edilmesi gereken bir sapma olarak görmek yerine, yeni bilgi ve geri bildirim doğrultusunda yönetilebilir bir unsur olarak ele almak bulunmaktadır [7].

Yangın güvenliği açısından çevik yaklaşım, mevzuat ve standart gerekliliklerinin esnetilmesi veya güvenlik kriterlerinin süreç içerisinde belirlenmesi anlamına gelmemektedir. Can güvenliği, performans kriterleri ve zorunlu teknik gereksinimler değişmez sınırlar oluştururken, bu gereksinimlere ulaşmak için kullanılacak yöntemlerin, uygulama sırasının veya iyileştirme çözümlerinin yinelemeli biçimde geliştirilmesi mümkün olabilir. Risk değerlendirmeleri sonucunda belirlenen çok sayıda uygunsuzluğun tek bir büyük proje içerisinde ele alınması yerine, risk önceliklerine göre küçük iyileştirme paketleri oluşturulabilir. Her uygulamanın ardından elde edilen sonuçlar değerlendirilebilir ve sonraki iyileştirmeler bu geri bildirimlere göre şekillendirilebilir. Ayrıca performansa dayalı yangın güvenliği sistemi tasarımları da çevik yöntemler ile ele alınabilir.

5.3. Hibrit Yaklaşım

Hibrit proje yönetimi yaklaşımı, geleneksel ve çevik yaklaşımların projenin farklı bileşenlerinde veya farklı aşamalarında birlikte kullanılmasını ifade etmektedir. Bu yöntemde yüksek düzeyde kesinlik, mevzuat uyumu veya değişiklik kontrolü gerektiren unsurlar öngörücü biçimde yönetilirken; belirsizliğin veya geri bildirim ihtiyacının daha yüksek olduğu çalışmalar yinelemeli yöntemlerle ele alınabilmektedir.

Yangın güvenliği projeleri hibrit yaklaşım için uygun bir uygulama alanı oluşturmaktadır. Bunun temel nedeni, bu projelerde bazı gereksinimlerin başlangıçtan itibaren kesin ve değişmez olması, buna karşılık saha koşulları, kullanıcı beklentileri, organizasyonel yapı ve uygulama ayrıntılarında belirsizliklerin bulunabilmesidir. Örneğin bir yangın algılama veya sprinkler projesinde uygulanacak standardın, temel tasarım kriterlerinin, koruma hedeflerinin ve kabul şartlarının başlangıçta tanımlanması gerekebilir. Bu unsurlar geleneksel yaklaşımla yönetilebilir. Buna karşılık mevcut tesis koşullarına göre ekipman yerleşimlerinin optimize edilmesi, kullanıcı arayüzlerinin geliştirilmesi, bakım ve işletme prosedürlerinin hazırlanması veya eğitim programlarının iyileştirilmesi yinelemeli bir yaklaşım içerisinde ele alınabilir.

6. SONUÇ

Yangın güvenliği süreçlerinin proje yönetimi perspektifiyle değerlendirilmesi, teknik yöntemlerin veya mevcut yangın güvenliği yönetim uygulamalarının yerine yeni bir sistem koymayı değil; teknik çalışmaların yönetsel boyutlarını daha görünür ve sistematik biçimde ele almayı amaçlamaktadır. Çalışmanın temel katkısı, yangın güvenliği projeleri ile TaKİB süreçleri arasında ortak bir yönetim dili kurulabileceğini ortaya koymasıdır.

Önerilen çerçevede TaKİB yangın güvenliğinin teknik bağlamını tanımlarken; proaktif olma, sahiplenme ve değer odaklılık çalışmaya yaklaşım biçimini, temel ilkeler karar ve davranışlara yön veren çerçeveyi, performans alanları sürekli yönetilmesi gereken konuları, odak alanları ise proje çalışmalarının nasıl yürütüleceğini açıklamaktadır. Bu ayrım, Tasarım, Kurulum, İşletme ve Bakımın proje yönetimi odak alanlarıyla bire bir eşleştirilmesini önlemekte ve her TaKİB aşamasının kendi içinde farklı yönetim ihtiyaçları taşıyabileceğini göstermektedir.

Bu perspektif; TaKİB aşamaları arasındaki bilgi ve sorumluluk kayıplarının azaltılması, teknik gereksinimlerle kapsam, zamanlama, finans, kaynak, paydaş ve risk boyutları arasındaki ilişkinin görünür hâle getirilmesi, sorunların erken ele alınması ve güvenlik değerinin yalnızca teslimat üzerinden değil sonuçlar üzerinden değerlendirilmesi açısından katkı sağlayabilir. Özellikle işletme ve bakım verilerinin yeni tasarım ve iyileştirme kararlarına aktarılması, yangın güvenliği performansının sürekliliği açısından önemli bir geri bildirim mekanizması oluşturmaktadır.

Bununla birlikte yaklaşımın uygulanmasında bazı güçlükler bulunmaktadır. Proje yönetiminin yalnızca süre ve bütçe takibi olarak algılanması, teknik ekiplerin yönetim araçlarını ek bir bürokrasi olarak görmesi, işletme ve bakım ekiplerinin çalışmalara geç katılması, karar sahipliğinin belirsiz kalması ve kullanılan araçların çalışmanın ölçeğine göre uyarlanmaması beklenen faydayı azaltabilir. Bu nedenle proje yönetimi araçlarının yangın güvenliği çalışmasının büyüklüğüne, karmaşıklığına ve risk düzeyine göre yalınlaştırılması önemlidir.

Geleneksel, çevik ve hibrit yaklaşımların değerlendirilmesi de tek bir yöntemin tüm yangın güvenliği çalışmalarına uygun olmadığını göstermektedir. Teknik gereksinimlerin ve kabul kriterlerinin belirgin olduğu çalışmalarda öngörücü yaklaşım güçlü bir yapı sağlarken, geri bildirim ve aşamalı iyileştirme ihtiyacının yüksek olduğu faaliyetlerde yinelemeli yöntemlerden yararlanılabilir. Çeviklik, mevzuat, standart veya kritik güvenlik kriterlerinin esnetilmesi anlamına gelmemeli; değişken olan uygulama yöntemlerinin ve iyileştirme adımlarının kontrollü biçimde uyarlanması olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak proje yönetimi perspektifinin yangın güvenliği projeleri ve TaKİB süreçlerine uyarlanmasının; teknik ve yönetsel gereksinimler arasındaki ilişkinin güçlendirilmesine, proaktif çalışma kültürünün desteklenmesine, karar ve sonuç sahipliğinin netleştirilmesine, paydaş koordinasyonunun geliştirilmesine ve yangın güvenliği değerinin korunmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Yaklaşımın uygulamadaki etkisinin ortaya konulabilmesi için gelecekte farklı tesis ve proje türlerinde vaka çalışmaları yapılması, iletişim, izlenebilirlik, değişiklik yönetimi ile güvenlik performansı üzerindeki sonuçların ölçülmesi önerilmektedir.

7.KAYNAKLAR

[1] International Organization For Standardization, “ISO 23932-1:2018 Fire Safety Engineering - General Principles - Part 1: General”, International Organization for Standardization, 2018.
[2] T.C. Cumhurbaşkanlığı, “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”, Resmî Gazete, Sayı: 26735, 19.12.2007 (son değişiklik: Resmî Gazete, Sayı: 32943, 01.07.2025).
[3] Project Management Institute, “A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Eighth Edition”, Project Management Institute, 2025.
[4] National Fire Protection Association, “NFPA 3: Standard for Commissioning of Fire Protection and Life Safety Systems”, National Fire Protection Association, 2024.
[5] National Fire Protection Association, “NFPA 25: Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems”, National Fire Protection Association, 2026.
[6] International Organization For Standardization, “ISO 55000:2014 Asset Management - Overview, Principles and Terminology”, International Organization for Standardization, 2014.
[7] Project Management Institute ve AGILE ALLIANCE, “Agile Practice Guide”, Project Management Institute, 2017.

8.ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Caner YILDIRIM

1988 İzmir doğumlu olup aslen Malatyalıdır. 2012 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü, 2017 yılında ise Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü bitirmiştir. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Tezli Yüksek Lisans bölümünü “Yüksek Tehlike Sınıfındaki Bir Akaryakıt Dolum Tesisinde Yangın ve Patlama Risklerine Karşı Yangın Algılama ve Söndürme Sisteminin Tasarlanması” başlıklı tez çalışması ile 2022 yılında bitirmiştir. 2014- 2020 yılları arasında yangın güvenliği ile ilgili özel sektörde çeşitli firmalarda çalışmıştır. 2020 yılından beri Ordu Yardımlaşma Kurumu’nda İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevre Müdürlüğü’nde Yangın Güvenliği Uzmanı olarak görev yapmakta olup OYAK Yangın Güvenliği Çalışma Grubunun liderliğini yürütmektedir. Aynı zamanda Proje Yönetimi Enstitüsü üyesi bir proje yönetimi profesyoneli olup B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanıdır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

AVM'LERDE YANGIN ALGILAMA VE YANGINLA MÜCADELE SİSTEMLERİ BAKIM, ONARIM VE KONTROLLERİ

Umut KORKMAZ

ÖZET

Ülkemizde geçerli yangın yönetmeliğinde (BYKHY-Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik), bina ve tesisler için sadece tasarım ve yapım aşamasındaki değil, işletme aşamasındaki yangın güvenlik önlemleri de tarif edilir. Binalarda tesis edilmiş olan elektrik ve mekanik yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarının yaptırılması işletmelerin yangın güvenliği ile ilgili sorumlulukları arasında yer alır. Bu durumun yönetmelikte (BYKHY) de karşılığı bulunmakta olup, örneğin acil durum aydınlatma, yönlendirme, yangın algılama ve uyarı sistemleri gibi elektrik yangın korunum sistemleri ile yönetmeliğe göre tesis edilmesi zorunlu olan söndürme sistemlerinin, ilgili standartlarda belirtilen periyodik kontrol, test ve bakımlarının, bina sahibi ve yöneticisi veya bunların yazılı olarak sorumluluklarını devrettiği bina yetkilisinin sorumluluğu altında yapılacağı belirtilir.

Bu çalışmada, alışveriş merkezlerinde tesis edilen elektrik ve mekanik yangın korunum sistemlerinin amacına uygun şekilde çalışır durumda işletilmesi ve bu sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakımlarının ilgili standartlarda belirtilen şekilde yapılması için dikkat edilecek hususlar ele alınmış ve İstanbul'daki bir alışveriş merkezi binasındaki başarılı uygulamalar üzerinden öneriler paylaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: İşletmelerde yangın güvenlik önlemleri, Periyodik kontrol, test ve bakımlar, Alışveriş merkezleri

MAINTENANCE, REPAIR, AND INSPECTIONS OF FIRE DETECTION AND FIREFIGHTING SYSTEMS IN SHOPPING MALLS

ABSTRACT

The fire safety regulation applicable in our country (Regulation on the Protection of Buildings from Fire) outlines fire safety measures for buildings and facilities not only during the design and construction but also during the operation. Ensuring the periodic inspection, testing, and maintenance of electrical and mechanical fire protection systems installed in buildings is among the fire safety responsibilities of the Operation teams. This requirement is stipulated in the regulation, which specifies that the periodic inspection, testing, and maintenance—as defined in relevant standards—of electrical fire protection systems (such as emergency lighting, directional signage, and fire detection and warning systems) and mandatory fire suppression systems must be carried out under the responsibility of the building owner and the building manager, or the designated building official to whom these responsibilities have been formally delegated in writing.

This study addresses the key considerations for ensuring the effective operation of electrical and mechanical fire protection systems installed in shopping centers—in accordance with their intended purpose—and for carrying out their periodic inspections, testing, and maintenance as specified in relevant standards; it also presents recommendations based on successful practices implemented at a shopping center in Istanbul.

Key words: Operational fire safety measures, Periodic inspections, testing and maintenance, Shopping malls

1. GİRİŞ

Bakanlar Kurulu kararı ile 19/12/2007 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren ve günümüze kadar farklı yıllarda sekiz kez bazı maddelerinde değişiklikler yapılan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), geniş kapsamı ile yaşadığımız, çalıştığımız, ziyaret ettiğimiz, konaklama yaptığımız ve eğlendiğimiz binalarda can ve mal güvenliğimizin korunması açısından önemli bir düzenleyicidir [1].

Yönetmelikte hakkında yeterli hüküm bulunmayan hususlarda ilgili standart olarak sırasıyla Türk Standartları'na (TS), Avrupa Standartları'na (EN) veya uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlara başvurulur. Yangın güvenliğinde uluslararası geçerliliği en yaygın kabul edilen referans NFPA (National Fire Protection Association) isimli ABD menşeili bir sivil toplum kuruluşu tarafından yayınlanan NFPA kod ve standartlarıdır. Örneğin bu çalışmada ele alınan yangın korunum sistemlerinin odağında yer alan yangın algılama sistemleri için yönetmelikte belirtilen sıralamaya göre başvurulacak ilgili standart TS EN 54 standardı ve birçok bölümden oluşan bu standardın yangın algılama sistemlerinin tasarım esaslarına yer verilen 14.bölümüdür [2]. Yönetmelikte ve TS EN 54-14 standardında karşılığı bulunamayan yangın algılama sistemine yönelik hususlar söz konusu olduğunda, uluslararası geçerliliği kabul edilen NFPA 72 yangın alarm sistemleri kodu kullanılabilir [3].

Yönetmelikte belirtilen yangın güvenlik önlemlerinin alınması için doğru yöntem, öncelikle bina veya tesisin tasarım ve uygulama aşamalarında yönetmeliğin gerektirdiği önlemleri alıp gerekli sistemlerin tesis edilmesini sağlayacak planlama ve uygulamanın yapılmasıdır. Tasarım ve uygulama aşamasında doğru planlama yapılmadığında, binanın işletmeye açılmasından sonra farkedilen eksikliklerin giderilmesi işletme aşamasında düzeltilmesi zorlaşır ve özellikle yapısal konularla ilgili uygunsuzluklar söz konusu olduğunda binada kısmen yıkım ve inşai çalışmalar yapılmasını gerektirecek zorluklarla karşılaşılabilir. Yönetmeliğe uygun yapılmış veya uygunsuzlukları giderilmiş olan tesislerde ise, herbir yangın korunum sisteminin ve ekipmanların kendilerinden beklenen performansı karşılayacak şekilde çalışır halde olmasının sağlanması, işletmeler tarafından titizlikle yürütülmesi gereken çalışmalarla mümkün hale gelir.

Geçmişte yaşanan vahim ve üzücü olaylar, aslında çok basit bir takip, küçük bütçeler ve eğitimli ekiplerden imtina edildiğinde sonuçlarının çok büyük ve acı olduğunu göstermiştir.

2. ALIŞVERİŞ MERKEZLERİNDE OPERASYONEL YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Alışveriş merkezi işletmelerinin sorumluluğunda yürütülen periyodik kontrol, test ve bakımlarla ilgili başarılı yöntem önerilerinin ele alındığı bu çalışmada, İstanbul'da bulunan ve içerisinde 450 adet ticari ünitenin yer aldığı bir alışveriş merkezindeki uygulamalar esas alınmıştır.

Söz konusu bina, aynı zamanda konut, ofis ve otel kullanımları bulunan 7 ayrı kule binasıyla bağlantılı karma kullanımlı bir projeye ait kampüsün merkezinde olup, AVM ile bağlantılı binaları her biri, kendi içinde ayrı birer acil durum asansörü bulunan yüksek binalardır. Bu binalar arasında bodrum katlar haricinde 50 katı ve çatısında bir seyir terası bulunan bir gökdelen de yer almaktadır. Kule binaları ve alışveriş merkezinin ortak bodrum katlarında toplam alanı 225.000 m^2 olan kapalı otopark kullanımı mevcuttur.

Ele alınan alışveriş merkezi ve karma kullanımlı yapı içinde AVM ile bağlantılı tüm binalarda, gelişmiş yangın algılama sistemleri, sulu söndürme sistemleri, yangın dolapları, yangın tüpleri ve hidrantlarla koruma yapılmaktadır.

Alışveriş merkezine ait yangın algılama sisteminde, ortak alana hizmet veren yaklaşık 12.000 adet dedektör ve izleme noktasının haricinde, kiralık alanlardaki toplam dedektör sayısı da yaklaşık 7000 adettir.

İşletmelerin yangın güvenliğine yönelik sorumlulukları sıralandığında ilk akla gelenler, acil durumlarda bina veya tesisin tahliyesini sağlayacak kaçış yollarının güvenli bir şekilde kullanılabilmesinin ve mekanik-elektrik yangın korunum sistemlerinin amacına uygun şekilde çalışmasının sağlanmasıdır. Bina veya tesiste yaşanabilecek bir yangın olayının ardından oluşan hasar ve kayıplardaki sorumluluk araştırıldığında, işletmelerin üzerine düşen sorumluluğu yerine getirdiklerini kanıtlamak için, yangın korunum sistemlerinin ve ekipmanların periyodik kontrol, test ve bakımlarının yaptırıldığını gösteren resmi kayıtları sunabilmeleri kritik öneme sahiptir.

İşletmelerde yangın güvenliğini sağlamaya yönelik bir diğer husus, özellikle dekorasyon ve tadilat işlerinin yapıldığı bina bölümlerinde yürütülen inşai çalışmalardan kaynaklanan yangın risklerinin doğru yönetilmesidir. Bu tür yerlerde yapılan kesme, delme ve kaynak gibi sıcak işlemler nedeniyle artan yangın çıkma ihtimalini azaltmak için, uygun tebdirlerin alınıp işin usulüne uygun şekilde yapılmasını sağlayacak prosedürlere uyulması koşuluyla sıcak işlem için iş izni verilir. Yine tadilat yapılan bina bölümlerinde daha sık ve uzun süreli olarak karşılaşılan bir durum da, yangın korunum sistemlerinden bazılarının kısmen ve geçici süreyle devredışı kalmasından kaynaklanan riskin azaltılmasıdır. Örnek olarak tozlu çalışmaların yürütüldüğü bina bölümlerinde yangın algılama sistemine bağlı duman dedektörlerinin hatalı alarm vermesi ile başa çıkabilmek için, ilgili bölümlere hizmet veren yangın algılama sistemi ekipmanları panel üzerinden devredışı bırakılarak veya normal işletme koşullarında detektörlere takılı olmaması gereken koruma kapakları takılarak yangın algılama sistemi söz konusu bölgede görevini yapamaz hale geldiğinde, bu durumu telafi etmek için tadilat yapılan bölgelerde kısa aralıklarla yangın devriyesi yaptırılır.

Tadilat yapılan bina bölümlerinde, tadilat yapılan yerin kendi içindeki düzenlemelerin yanısıra, alışveriş merkezinin ortak kaçış yollarına erişim imkanlarının kısıtlanmamasına ve ilave tesisatlar için yangın kompartman duvarlarında açılan deliklerin uygun yangın durdurucu detaylarla kapatılması gibi, pasif yangın önlemlerinin sürekliliğine dikkat edilmelidir.

İşletmelerde ayrıca yangın ve benzeri acil durumlara yönelik acil durum eylem planları oluşturulması, bu planların kurtarma, söndürme, koruma ve ilk yardım ekiplerini içeren bir personel organizasyonunu içermesi, binanın tahliyesi sırasında görev alacak sorumluların belirlenerek planlı tatbikatlar yapılması, yangına ilk müdahalede kullanılmak üzere acil durum müdahale ekipmanlarının temin edilmesi ve acil durum ekiplerinin gerektiğinde bu ekipmanlara ulaşmasını, kullanmasını ve hızlı bir şekilde olay yerine intikal etmesini sağlamaya yönelik eğitimler alınması, binada bazı özel ihtiyaçları olan kişilerin tahliyesi için destek verecek personel görevlendirmesi ve gerektiğinde acil durum asansörlerinin kullanımını sağlayacak düzenlemeler de operasyonel yangın güvenlik önlemlerinin önemli bir parçasıdır. Alışveriş merkezlerinde binayı tahliye etmek için özel ihtiyaçları olabilecek bina bölümlerine örnek olarak, acil durum sırasında ebeveynlerinin yanlarında bulunmama ihtimali olan çocuk oyun alanları verilebilir. Ayrıca bazı alışveriş merkezlerinin özel eğlence ve gösteri alanlarında, acil durumlarda özel ekipmanlar kullanabilen görevliler tarafından kurtarılması gerekebilecek evcil veya vahşi hayvanlar da bulunabilir ve bu tür yerler için özel acil durum eylem planı geliştirilmesine ihtiyaç duyulur.

Binanın devreye alma süreçlerinde ayrıntılı kontrol ve testleri yapılan yangın senaryolarının, yangın algılama sisteminin programlamasına etki edebilecek bir değişiklik yapılmadığı sürece değişmesi beklenmez. Bu nedenle çok kompleks bir yapıya sahip olmayan binalarda yangın algılama sistemi ile diğer sistemlerin entegrasyonunun kontrolünün, genel tatbikatlar sırasında dolaylı olarak yapılması mevzuat açısından yeterli görülür. Ancak alışveriş merkezleri gibi sıklıkla kiralama değişiklikleri yapılan kompleks binalarda, sistemler arasındaki entegrasyonun devreye alma süreçlerindeki gibi işlemeye devam ettiğini gözlemlemek

için yangın senaryolarının devreye sokulduğu testler planlanmasına ihtiyaç duyulur. Bu tür senaryo testleri aynı zamanda seneler içerisinde işletme teknik ekiplerine yeni katılan teknik ekiplerin binadaki mevcut yangın senaryolarına aşina olmalarını sağlamak için de oldukça yararlıdır. Bu çalışmada ele alınan alışveriş merkezinde yangın senaryolarının kontrolü için AVM'nin kapalı olduğu gece saatlerinde yapılan çalışmalara ait bazı fotoğraflar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. AVM'nin kapalı olduğu gece saatlerinde yapılan yangın senaryo testlerinden fotoğraflar

3. PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIMLAR İÇİN BAŞARILI BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te (BYKHY), yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarının yaptırılmasını zorunlu kılan hükümler mevcuttur. Ancak yönetmeliğin uygulanması ve yönlendirmesinin işletme teknik ekipleri tarafından doğrudan ve alt yüklenici ekiplerden hizmet alınarak yapılması, kompleks bir yapıya sahip bir alışveriş merkezinde toplam kalite için yeterli olmayacaktır. Zira 450 kiracı içeren bir tesiste sadece AVM ortak alanları için harcanan eforun yeterli olmayacağı ve kiracıların da bu efora ortak ve destek olmaları gerekir.

Bu çalışmada ele alınan alışveriş merkezinde görev yapan zayıf akım, otomasyon, bakım ve elektrik/mekanik ekipleri bu sistemleri sürekli olarak canlı ve bakımlı tutmaktadır. Bu bakım ve testlerin organizasyonu ve dokümantasyonu düzgün şekilde planlanmakta ve sıkı şekilde kontrol edilmektedir. Ancak yukarıda ifade edildiği üzere, bu kalite mağazaları da içermedikçe bir yanı aksak kalır. Dolayısıyla ortak alanlardaki sistemlerin bakımları ne kadar iyi yapılırsa yapılsın, kiracı tarafındaki bakım ve kontrollerin eksik kalmasının binanın toplam güvenliğini ciddi şekilde etkilediğinin farkında olunarak, söz konusu AVM'de bu konuda ciddi iyileştirmeler ve prosedürler devreye sokulmuştur.

Kiralık alanlardaki yangın algılama elemanları (detektör, alarm butonu, vs) adresli olup merkezi yangın algılama sistemine bağlı panellerden izlenmektedir. Sadece 5 adet mağazanın kendi alarm paneli mevcut olup, bu paneller de ana yangın paneli ile haberleşmektedir. Kiralık alanlarda yer alan yaklaşık 4500 adet dedektörle birlikte ortak alanlar, depo ve tesisat odaları ile otoparklardaki dedektör ve yangın ihbar butonları da dahil toplam 15.500 adet yangın alarmı (dedektör ve buton) bulunmaktadır.

Yangın güvenliğinin algılama ve müdahale yanında önleyici önlemlerle birlikte bir bütün olabileceğinin farkında olunarak, mağazaların sistemlerinin kontrolü oldukça önemlidir. Bu kapsamda mağazaları organize etme ve denetleme için bir sistem geliştirme ihtiyacı doğmuş olup, bu ihtiyacın e-posta veya standart ofis programları ile yürütülmesi ve takip edilmesi olanaksızdır. Bu sebeple bir portal geliştirilmesi kararlaştırıl-

mış ve bunun için hali hazırda bazı özel projeler için kullanılan bir doküman yönetim sistemi geliştirilerek çözüm elde edilmiştir.

Kiracıların iç sistemlerinde yangın güvenliğini etkileyen başlıca unsurlar aşağıda sıralanmış olup, bunların her biri için özel bakım talimatları oluşturulmuştur:

- Elektrik panosu ve iç dağılım sistemleri
- Yangın algılama ve ihbar sistemi
- Yangın tüpleri
- Davlumbaz yangın söndürme sistemleri (F&B kiracıları için)

Sonrasında geliştirilen döküman takip sistemine girişleri yaparak her kiracıya her bir bakım için ayrı iş emirleri oluşturulmuştur. Sistem devreye alındığında her kiracıya bu bakımlar için dökümantasyon sistemi ile senkronize edilen kiracı portalı aracılığıyla otomatik olarak e-posta mesajları gönderilmiş ve bakım talimatları ile bakım formlarını yüklemeleri için bir bağlantı oluşturulmuştur. Kiracılar, bakımlarını yaptıklarında bu bağlantıdan bakım formlarını ekleyerek, bina yönetimine yönlendirmiş ve bina yönetimi tarafından bu formlar kontrol edilerek onaylanmak veya eksik tespit edildiğinde reddedilmek suretiyle değerlendirilmiştir. Onaylanan dökümanlar sonrası sisteme daha önce tanımlanan bakım periyoduna uygun olarak sonraki bakım tarihi için iş emri açılması ve bu tarih yaklaştığında kiracıya bildirimler ulaştırılması sağlanmaktadır.

Yukarıda açıklanan bu sistem yardımıyla yapılan çalışmalar sonucunda, kiracıların da yoğun desteği ile çok başarılı sonuçlara ulaşılmış olup, yaklaşık 1.5 yıl içinde bu sistem ile 1046 bakım formunun onaylanması ve 702 adet formun reddedilmesi sağlanmıştır. Reddedilen formlarla birlikte bina yönetimi ile kiracılar asrasında toplamda 1800 adet civarında bir etkileşim gerçekleştirilmiş olması, bu yöntemin kiracılar tarafından da benimsendiğini ortaya koymaktadır. Bunun sonucunda kiracıları da katarak AVM'nin toplam yangın güvenliği konusunda çok iyi bir seviyeye ulaşılmasında yönetim ekibinin (Facility Management) vizyonu ve takipçiliği çok kritik bir rol oynamıştır. Ancak sadece bir departmanla sağlanamayacak bu başarıda, Kiracı İlişkileri Departmanı'nın desteği bu işin bu kalitede sürdürülmesini sağlamıştır. Bunun dışında, doküman takip sistemini içeren portalın geliştirilmesine destek veren IT ve ERP ekipleri de önemli bir katkı vermiştir.

Bu çalışmada ele alınan alışveriş merkezinde işletme sorumluluğundaki yaklaşık 12.000 adet yangın algılama dedektörü ile mağaza içlerindeki 7000 civarındaki yangın dedektör ve alarm butonu için yangın algılama sistemleri "Sıfır" arıza bildirimi ile çalışmaktadır. Yine hem yangın istasyonlarında, hem yangın kolonlarında hem de mağazalarda bulunan yüzlerce izlenebilir vananın da yine "Sıfır" hata ile çalıştırılması ve vanaların hatalı konum izlemelerinin merkezi yangın algılama sisteminden takip edilmesi başarıyla sağlanmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bina ve tesislerdeki mekanik ve elektrik yangın korunum sistemleri için işletmeler tarafından yaptırılması gereken periyodik kontrol, test ve bakım işlemlerinin, alışveriş merkezleri gibi kompleks yapılarda başarılı bir şekilde uygulanması için dikkat edilecek hususlar ele alınmıştır. Bunun için İstanbul'daki bir karma kullanım projesinin merkezinde yer alan 450 mağazalı bir alışveriş merkezi binasındaki uygulama yöntemleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan işin öneminin farkında ve konuyla ilgili tecrübe sahibi ekiplerin özverili ve koordine çalışmaları sonucunda, açılışının üzerinden 10 yıl geçmiş olan büyük bir AVM'nin yangın alarm sisteminde "Sıfır" arıza bildirimi alınacak seviyede işletme koşullarının nasıl yakalanabileceğine dair yöntem ve öneriler paylaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), Bakanlar Kurulu Kararının Sayısı: 2007/12937, Tarihi: 27/11/2007 ve Yayımlandığı Resmi Gazete Sayısı: 26735, Tarihi: 19/12/2007
[2] TS EN 54-4, " Yangın algılama ve yangın alarm Sistemleri – Bölüm 14: Planlama, tasarım, kurulum, devreye alma, kullanım ve bakım için rehber", Türk Standartları Enstitüsü, TSE Kabul Tarihi: 19.11.2018
[3] NFPA 72, "National Fire Alarm and Signaling Code", National Fire Protection Association, 2025.

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

Umut KORKMAZ
1972'de Ankara'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini İzmir'de tamamladı, Bornova Anadolu Lisesi Almanca bölümünden mezun oldu. Lisans Eğitimini Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde aldı. 1997'de başlayan iş hayatında Elektromekanik Taahhüt, Alışveriş Merkezleri operasyonel işletme, tasarım ve inşaat aşamalarında çalıştı. İskenderun, Antakya, Gaziantep ve Sivas'taki alışveriş merkezlerinin MEP Direktörü olarak tasarım aşamasından işletmeye alıma kadarki tüm süreçleri yönetti. 2020 Kasım ayından beri Emaar Square Alışveriş Merkezi'nin Facility Management departmanını yönetmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

TÇM EKİPMAN TAKİP SİSTEMİ: RAFİNERİ ACİL DURUM VE TEKNİK EMNİYET EKİPMANLARININ DİJİTAL YÖNETİMİ

Eren AKDENİZ

ÖZET

Rafineri gibi yüksek riskli ve kritik tesislerde yangın, gaz kaçağı, çevresel olaylar, iş sağlığı ve güvenliği ile sağlık hizmetleri kapsamında kullanılan ekipmanların her an göreve hazır tutulması, müdahale kabiliyetinin temel belirleyicilerinden biridir. Teknik Emniyet ve Çevre Müdürlüklerinin sorumluluğunda bulunan ekipman envanteri; farklı lokasyonlarda, farklı ekipman gruplarında ve günlük, vardiyalı, haftalık, aylık, üç aylık, altı aylık ve yıllık periyotlarda yürütülen çok sayıda kontrol faaliyetinden oluşmaktadır. Özellikle İzmit Rafinerisi Acil Durum Müdahale birimi envanterinde 10.020 adet ekipman bulunması, manuel veya kâğıt bazlı kontrol yöntemlerinin sürdürülebilir olmadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, TÇM Ekipman Takip Sistemi'nin geliştirilme gerekçesini, geçmiş RFID tabanlı uygulamadan güncel web tabanlı ve QR kod destekli yapıya geçiş sürecini, sistem mimarisini, saha kullanım senaryosunu, rol bazlı yetkilendirme modelini ve periyodik kontrol yönetimini açıklamaktadır. Sistemde her ekipmana özel TAG NO ve benzersiz ID tanımlanmakta; QR kodlar dayanıklı etiketlere basılarak ekipman üzerine uygulanmakta; saha personeli exproof tabletler aracılığıyla ilgili kontrol formuna doğrudan erişebilmektedir. Kontrol sonuçları merkezi veri tabanına gerçek zamanlı kaydedilmekte, ekipman sağlık durumu, kontrol geçmişi ve istatistiksel veriler filtrelenerek izlenebilmektedir. Kurum içi kaynaklarla geliştirilen bu çözüm, ekipman envanterinin güncel, izlenebilir, raporlanabilir ve denetlenebilir şekilde yönetilmesini sağlayarak operasyonel verimlilik, kurumsal kontrol ve rafineri iş emniyeti kültürünün gelişimine katkı sağlamaktadır.
Anahtar sözcükler: TÇM, ekipman takip sistemi, QR kod, periyodik kontrol, dijitalleşme, rafineri emniyeti, acil durum müdahale

TCM EQUIPMENT TRACKING SYSTEM: DIGITAL MANAGEMENT OF REFINERY EMERGENCY RESPONSE AND TECHNICAL SAFETY EQUIPMENT

ABSTRACT

In high-risk and critical facilities such as refineries, keeping emergency response, fire protection, environmental intervention, occupational health and safety, and medical response equipment ready for operation is a key requirement for effective intervention. The equipment inventory managed by Technical Safety and Environment departments consists of thousands of assets distributed across different locations and subject to daily, shift-based, weekly, monthly, quarterly, semi-annual, and annual inspections. The fact that the Izmit Refinery Emergency Response unit alone manages 10,020 pieces of equipment demonstrates that manual and paper-based inspection methods are no longer sustainable. This paper presents the rationale, development process, system architecture, field use scenario, role-based authorization model, and periodic inspection structure of the TCM Equipment Tracking System. The system assigns a unique TAG NO and ID to each asset, generates QR codes, enables access to inspection forms through exproof tablets in the field, and records inspection data in a central database in real time. The solution improves traceability, reporting, audit readiness, and operational efficiency while supporting a stronger refinery safety culture.
Key words: TCM, equipment tracking system, QR code, periodic inspection, digitalization, refinery safety, emergency response

1. GİRİŞ

Rafineriler; yanıcı ve parlayıcı ürünlerin işlendiği, yüksek enerji yoğunluğuna sahip proseslerin yürütüldüğü ve acil durumlara hızlı müdahalenin kritik olduğu tesislerdir. Bu nedenle yangınla mücadele ekipmanları, acil durum müdahale ekipmanları, çevresel müdahale araçları, iş sağlığı ve güvenliği ekipmanları ile sağlık hizmetlerine ait ekipmanların hazır ve işler durumda bulunması, yalnızca operasyonel bir gereklilik değil, aynı zamanda can güvenliği, çevre güvenliği, tesis bütünlüğü ve kurumsal itibar açısından öncelikli bir sorumluluktur.

Geleneksel olarak kullanılan kâğıt formlar, ıslak imzalı kontrol kartları, Excel dosyaları ve e-posta zincirleri; büyük ölçekli ekipman envanterlerinde güncel veri üretme, geçmiş kayıtlara hızlı erişme, denetimlerde tutarlı kayıt sunma ve kontrol sonuçlarını analiz edebilme açısından yetersiz kalmaktadır. 2025 yılı itibarıyla dijitalleşme ve yapay zekâ uygulamalarının hızla geliştiği bir dönemde, kritik ekipman kontrollerinin manuel yöntemlerle yürütülmesi sürdürülebilir bir yaklaşım olmaktan çıkmıştır.

TÇM Ekipman Takip Sistemi bu ihtiyaçtan doğmuş; Teknik Emniyet ve Çevre Müdürlüklerinin ekipman envanterini, kontrol periyotlarını, kontrol formlarını ve ekipman sağlık durumlarını merkezi, izlenebilir ve raporlanabilir bir yapıda yönetmeyi amaçlamıştır.

2. PROBLEMİN TANIMI VE DİJİTALLEŞME İHTİYACI

2.1. Operasyonel sorumluluğun kapsamı

TÇM birimlerinin sorumluluğu; yangın araçları, yangın pompaları, söndürme sistemleri, solunum cihazları, yangın dolapları, gazlı söndürme sistemleri, çevresel müdahale ekipmanları ve benzeri kritik varlıkların sahada düzenli kontrol edilmesini kapsar. Sunum içeriğinde vurgulandığı üzere Türkiye genelindeki dört rafineride ve Genel Müdürlük kampüsünde yer alan ekipmanlar birlikte değerlendirildiğinde, yönetilen envanter kritik müdahale gücünü oluşturan geniş bir teknik varlık yapısına dönüşmektedir.

İzmit Rafinerisi Acil Durum Müdahale biriminin envanterinde 10.020 adet ekipman bulunması ve bu ekipmanların bir veya birden fazla kontrol periyoduna tabi olması, sistematik ve merkezi bir dijital takip ihtiyacını açık biçimde göstermektedir. Bu ölçekte yürütülen kontrollerde kaydın gecikmesi, formun eksik doldurulması, geçmiş kartlara erişilememesi veya kontrol sonuçlarının analiz edilememesi, müdahale hazırlığını olumsuz etkileyebilecek riskler doğurur.

2.2. Manuel yöntemlerin sınırlılıkları

Kâğıt formlar ve ıslak imzalı kartlar arşiv, erişim ve geriye dönük analiz süreçlerinde zaman kaybı yaratır.

Excel dosyaları ve e-posta zincirleri, sahadaki anlık ekipman durumunu gerçek zamanlı olarak yansıtmakta yetersiz kalır.

Farklı ekipman grupları için farklı kontrol periyotlarının manuel takibi, hata ve gecikme riskini artırır.

Denetimlerde standart ve karşılaştırılabilir kayıt sunma ihtiyacı, manuel yöntemlerle sınırlı şekilde karşılanabilir.

Dış kaynaklı ve kapalı sistemler, kurumsal ihtiyaçlara hızlı uyarlama yapılmasını zorlaştırır.

3. GEÇMİŞTEN BUGÜNE DİJİTALLEŞME SÜRECİ

Dijitalleşme yolculuğunun ilk aşamasında, 2010'lu yıllarda Koçsistem tarafından geliştirilen RFID tabanlı ekipman takip uygulaması özellikle İzmit Rafinerisi'nde aktif olarak kullanılmıştır. Windows Mobile tabanlı bu uygulama, exproof el terminalleri ile çalışmış ve ekipmanlara takılan RFID kartları üzerinden kontrol yapılmasına imkân sağlamıştır. Bu yapı, ıslak imzalı kartlardan dijital takibe geçişte önemli bir adım olmuş; kontrollerin takip edilebilirliği açısından kuruma değer katmıştır.
Bununla birlikte önceki RFID tabanlı sistemin yalnızca aylık periyottaki kontrolleri desteklemesi, form altyapısının bulunmaması, detaylı kontrol imkânının sınırlı olması, verilerin PC'ye bağlanarak aktarılması ve canlı veri sağlamaması, sistemin gelişen ihtiyaçlara cevap vermesini zorlaştırmıştır. Dış firmaya bağımlılık ve güncelleme alamama sorunu nedeniyle sistem zamanla devre dışı kalmış, kontroller tekrar kâğıt formlar ve ıslak imzalı kartlar üzerinden yürütülmek durumunda kalmıştır.
Yeni TÇM Ekipman Takip Sistemi ise kurum içi ihtiyaçlara göre tasarlanmış, Genel Müdürlük bünyesindeki Yazılım Geliştirme Direktörlüğü tarafından kurum içi kaynaklarla geliştirilmiş ve 2025 Mayıs ayından itibaren İzmit Rafinerisi A bölgesinde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşım; günlük, haftalık, üç aylık, altı aylık ve yıllık periyotlar için otomatik form üretimi, gerçek zamanlı veri, kullanıcı yetkilendirmesi ve sürekli geliştirilebilir mimari gibi kazanımlar sağlamaktadır.

4. SİSTEM ALTYAPISI VE TEKNOLOJİK YAPI

4.1. Web tabanlı mimari ve cihaz uyumluluğu

TÇM Ekipman Takip Sistemi tamamen web tabanlı bir uygulama olarak kurgulanmıştır. İnternet bağlantısı olan herhangi bir cihazdan, modern tarayıcılar üzerinden çalışabilmekte; kullanıcılar ofiste masaüstü bilgisayarlardan, sahada ise exproof tabletlerden sisteme erişebilmektedir. Responsive tasarım, aynı arayüzün farklı ekran boyutlarında kullanılabilmesini sağlar. Sistem özel yazılım kurulumu gerektirmeden çalıştığı için dağıtım ve bakım süreçleri sadeleşmektedir.

4.2. QR kod ve dayanıklı etiket yapısı

Sistemde her ekipmana özel bir TAG NO tanımlanmakta ve bu numaraya karşılık gelen QR kod sistem tarafından oluşturulmaktadır. Her ekipmanın benzersiz bir ID'si bulunur. QR kodlar termal transfer yöntemiyle dayanıklı etiketlere basılarak ekipman üzerine uygulanır. Sahada görevli personel, exproof tablet kamerası ile etiketi okutarak ilgili ekipmanın kontrol formuna doğrudan erişir.
İzmit Rafinerisi'nde etiket baskısı için Zebra ZD 421 model etiket yazıcı kullanılmaktadır. Filmictyre etiketler; yapışkanlığı yüksek, plastik bazlı, kolay yırtılmayan, sudan ve nemden etkilenmeyen, dış ortam koşullarına dayanıklı etiketler olarak tercih edilmektedir. Resin ribonlar ise aşınma, kimyasal etki ve yüksek ısıya maruz kalabilecek etiketlerde dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

4.3. Giriş, yetkilendirme ve gerçek zamanlı veri

Sisteme giriş kurumsal e-posta adresi ve şifre ile yapılmaktadır. Rol bazlı yetkilendirme yapısında Admin, Manager ve Operatör rolleri tanımlanmıştır. Admin tüm tanımlara ve sistem ayarlarına erişebilir; Manager ekipman kayıtları, QR kodlar ve formlar üzerinde geniş yetkilere sahiptir; Operatör ise sahadaki kontrol süreçlerini yürütmek üzere kısıtlı ve amaca uygun yetkilerle çalışır.
Yapılan kontroller merkezi veri tabanına gerçek zamanlı kaydedilir. Böylece ekipmanların canlı ve anlık izlenebilirliği sağlanır; ekipmanın hazır, kabul edilebilir veya uygun olmayan durumda olup olmadığı gö-

rülebilir. Vardiya değişimlerinde görev devrinin daha güvenli yapılması, ekipman sağlık durumunun hızlı izlenmesi ve geçmiş kontrol kayıtlarına filtrelenerek erişilmesi mümkün hale gelir.

5. YAZILIM GELİŞTİRME SÜRECİ VE UYGULAMA YAPISI

Proje başlangıçta Acil Durum Müdahale biriminin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanmıştır. Ancak süreç ilerledikçe İş Sağlığı ve Güvenliği, Proses Emniyeti, İş Yeri Hekimliği ve Çevre Kontrol birimlerinin de katılım ihtiyacı ortaya çıkmış; yazılımın kapsamı genişleyerek tüm Teknik Emniyet ve Çevre Müdürlüklerinin ortak çözümüne dönüşmüştür.

5.1. Tanımlar menüsü ve envanter yapısı

Sistemin başarısı, sahayla uyumlu ve tutarlı bir ekipman veri tabanının kurulmasına bağlıdır. Bu amaçla yazılımda esnek ve çok katmanlı bir Tanımlar menüsü oluşturulmuştur. Ünite tanımı ile ekipmanların bulunduğu fiziksel bölgeler sisteme tanımlanır. Ekipman sınıflandırması ise Tür, Grup ve Tip kırılımında yapılır. Tür ekipmanın ana kategorisini, Grup alt kategorisini, Tip ise sahada ayırt edici alt model veya özel tanımı ifade eder.

Tablo 1. Uygulama yapısındaki temel tanımlar

Bileşen	Amaç	Sistemdeki Kullanımı
Ünite	Ekipmanın bulunduğu fiziksel saha/bölge tanımı	Tank sahası, proses ünitesi, arıtma ünitesi gibi lokasyonların tanımlanması
Tür	Ekipman ana kategorisi	Yangınla mücadele, çevresel müdahale, sağlık veya İSG ekipmanlarının ayrıştırılması
Grup	Ekipman alt kategorisi	Kontrol periyodu atanabilen ve form üretilebilen ekipman grupları
Tip	Ayırt edici alt model veya özellik	Sahada net tespit ve sistemde filtreleme kolaylığı sağlayan isteğe bağlı kırılım
Periyot	Kontrol zamanlaması	Günlük, vardiyalı, haftalık, aylık, 3 aylık, 6 aylık ve yıllık kontrol planlarının tanımlanması
Şablon	Kontrol formu soru seti	Ekipman grubu veya tipine özel çoklu seçim, tekli seçim, metin ve tarih girişli form tasarımı

5.2. Periyot, detay ve şablon yönetimi

Periyot bölümü, her ekipman grubuna bir veya birden fazla kontrol periyodu atanmasını sağlar. Sistem belirlenen periyotlara göre kontrol formlarını otomatik üretir. Detaylar bölümü, ekipman grubuna özel veri giriş alanlarının tanımlanmasına imkân verir. Şablonlar bölümü ise her ekipman grubu veya tipi için soru-cevap formatında kontrol formu hazırlanmasını sağlar. Cevap türleri çoklu seçim, tekli seçim, metin girişi ve tarih girişi gibi farklı formatlarda düzenlenebilir. Kullanıcıdan açıklama veya medya girişi talep edilebilir.

5.3. Ekipman ve periyodik kontrol ekranları

Ekipman ekranı, envanterin oluşturulduğu ve izlendiği ana bölümdür. Açılır menülerle filtreleme yapılabilir, ekipman listeleri Excel dosyası olarak indirilebilir, QR kodlar tek tek veya toplu olarak alınabilir, ekipman bilgileri güncellenebilir ve ekipmanın atandığı periyotlar ile sağlık durumu görülebilir.
Periyodik Kontrol ekranı ise sistemde otomatik oluşan tüm kontrol formlarını ve kontrol sonuçlarını görün-

tüler. Form adı, şablon adı, tag numarası, ekipman grubu, kayıtlı ünite, adres, periyot, vardiya bilgisi, kontrol eden kişi, kontrol tarihi, ekipman durumu ve tamamlanma bilgisi bu ekrandan izlenebilir. Tamamlanma bilgisi yeşil veya kırmızı gösterimle takip edilerek kontrolün açık ya da tamamlanmış olduğu hızlıca anlaşılır.

6. SAHADA KONTROL SÜRECİ: QR KODLU TAKİP

Saha kontrol süreci, kullanıcının uygulamaya giriş yapması ve ekipman üzerindeki QR etiketi tablet kamerası ile okutmasıyla başlar. Gece ve karanlık ortamlarda tarama performansını artırmak amacıyla flaş ışığı açma fonksiyonu uygulamaya eklenmiştir. QR kod okutulduğunda sistem, ekipmanın tipi ve kontrol periyoduna göre ilgili formu otomatik olarak açar.
Operatör, formdaki soruları cevaplayarak kontrolü tamamlar. Yanıtlar varsayılan olarak “Uygundur” seçili gelebilir; böylece çok sayıda sorudan oluşan formlarda kullanıcı yalnızca uygun olmayan yanıtları değiştirerek sahadaki kontrol süresini azaltır. Kontrol sonunda ekipman sağlık durumu “Uygundur”, “Uygun Değildir”, “Kabul Edilebilir” veya “Bilinmiyor” gibi seçeneklerle değerlendirilir; gerekli açıklamalar Not alanına girilir ve kayıt tamamlanır.
Kritik olarak işaretlenmiş ekipmanların formları QR etiket okutulmadan da periyodik kontrol ekranı üzerinden açılabilir. Ancak kritik olmayan ekipmanlarda operatörlerin formlara erişimi, ekipmanın yanına gidilerek QR etiket okutulması prensibine dayandırılmıştır. Bu yaklaşım, kontrolün fiziki ekipman başında yapılmasını teşvik eder.

7. VERİ İZLEME VE RAPORLAMA

Periyodik kontrol ekranına ek olarak, kontrol sonuçlarının bir bakışta takip edilebilmesi için ayrı veri izleme pencereleri geliştirilmiştir. Günlük veya vardiyalı kontroller, haftalık kontroller ve ayın haftalarına dağıtılmış kontroller farklı pencerelerden izlenebilir. Örneğin yangın araçlarının vardiya kontrolleri günlük ekipman kontrol pencerelerinden, yangın pompaları ve solunum cihazları gibi kritik ekipmanların haftalık kontrolleri haftalık ekipman kontrol pencerelerinden takip edilebilmektedir.
Aylık periyotta kontrol edilen ve kritik olarak işaretlenmemiş ekipmanların sayısı binlerle ifade edildiğinden, bu ekipmanların tek tek pencerelerde gösterilmesi yerine ünite bazlı izleme yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yapı, bir ünite içindeki formların kaçının tamamlandığını, kaçının açık olduğunu ve ekipmanların kaçının uygun, uygun değil veya kabul edilebilir durumda olduğunu görmeyi sağlar.

8. SAĞLANAN KAZANIMLAR

Ekipman envanteri her an güncel, ulaşılabilir ve raporlanabilir hale gelir.

Kontrol kayıtları bakanlık denetimleri, sigorta süreçleri ve kurum içi raporlamalar için düzenli ve güvenilir şekilde saklanabilir.

Gerçek zamanlı veri, vardiya değişimi ve saha koordinasyonunun daha net yönetilmesine yardımcı olur.

Standart form şablonları, denetim kayıtlarının tutarlı ve karşılaştırılabilir olmasını sağlar.

Kurum içi geliştirme modeli, dışa bağımlılığı azaltır ve sahadan gelen geri bildirimlerle sürekli iyileştirmeyi mümkün kılar.

QR kodlu saha erişimi, kontrolün ekipman başında yapılmasını destekler ve kontrol disiplinini güçlendirir.

Daha kullanılabilir, güvenilir ve sürdürülebilir bir sistemle rafineri emniyet kültürüne katkı sağlanır.

9. YOL HARİTASI

Sunumda yol haritası başlığı ayrı bir bölüm olarak yer almakta; sistemin geliştirilmeye açık mimarisi ve sahadan alınan geri bildirimlerle sürekli iyileştirilebileceği vurgulanmaktadır. Bu çerçevede yol haritasının ana ekseni, sistemin farklı rafineri sahalarındaki ihtiyaçlara uyarlanması, kontrol şablonlarının sahadaki gerçek kullanım deneyimlerine göre olgunlaştırılması, raporlama ekranlarının zenginleştirilmesi ve kritik ekipman kontrol görünürlüğünün artırılması olarak değerlendirilmektedir.
Bu bölüm, sempozyum bildirisi nihai hale getirilirken uygulamanın yaygınlaştırma planı, kullanıcı geri bildirimleri, performans göstergeleri ve gelecek geliştirme başlıkları ile genişletilebilir.

10. SONUÇ

TÇM Ekipman Takip Sistemi, rafineri gibi yüksek riskli tesislerde kritik ekipmanların periyodik kontrollerinin manuel yöntemlerden dijital, merkezi ve raporlanabilir bir yapıya taşınmasını sağlayan önemli bir dönüşüm projesidir. Sistem; web tabanlı mimarisi, QR kod entegrasyonu, dayanıklı etiket yapısı, rol bazlı yetkilendirme modeli, otomatik form üretimi, gerçek zamanlı veri kaydı ve veri izleme pencereleriyle ekipman yönetimini daha sistematik hale getirmektedir.
Bu dönüşüm yalnızca teknolojik bir iyileştirme değil; aynı zamanda operasyonel verimlilik, denetlenebilirlik, kurumsal kontrol ve müdahale hazırlığı açısından stratejik bir kazanımdır. Rafineri emniyet kültürünü ileriye taşıyan bu yaklaşım; her şeyin kayıt altında olduğu, her şeyin izlenebildiği, daha güvenli bir rafineri ve daha güçlü bir kontrol mekanizması hedefini desteklemektedir.

11. KAYNAKLAR

[1] TÇM Ekipman Takip Sistemi Projesi Tanıtımı 2025, PowerPoint sunumu, Eren Akdeniz.
[2] TUYAK 2026 Bildiri Metni Şablonu, örnek bildiri formatı.

12. KISA ÖZGEÇMİŞ

Eren AKDENİZ

Eren Akdeniz, Meslekte 10. Yılında Tüpraş İzmit Rafinerisi Acil Durum yöneticiliği biriminde acil durum yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Rafineri yangın güvenliği, acil durum müdahale ekipmanları, yangınla mücadele sistemleri, kontrol süreçleri, denetim hazırlıkları ve acil durum müdahale uygulamaları alanlarında çalışmaktadır. TÇM Ekipman Takip Sistemi projesi de dahil olmak üzere rafineri dijitalleşme süreçlerinde birçok projenin süreç ortağı olarak görev almaktadır.

YANGIN SIRASINDA İNSAN DAVRANIŞLARI

Dr.İlker Hakan Terzioğlu
Boğaziçi Üniversitesi (KAKAD)

ÖZET

Yangın sırasında paniğin meydana geldiği fikri, yangının sonucu tarafından büyük ölçüde etkilenir ve değerlendirilir. Bununla kastedilen, örneğin, yanan ve/veya çöken bir binaya tekrar girmek gibi bir kriz müdahalesinin ölümle sonuçlanması durumunda "panik" olarak etiketlenmesi, buna karşılık, benzer tepki ve yanıtın hayatların kurtarılmasıyla sonuçlanması durumunda ise "kahramanca" olarak etiketlenmesidir. Başka bir deyişle, bina sakinlerinin, binalarda yangın güvenliği sistemleri kurulduğunda çoğunlukla beklenenden farklı tepki vermeleri muhtemeldir. Bu davranış zıtlığı, insanların panik tepkisine ve sakinlerin işlevsiz ve mantıksız tepkiler göstermesine katkıda bulunabilecek davranışa atfedilir. Peki, yangın ve acil durumlarda insanlar gerçekten de mantık dışı, anti sosyal ve panik bir şekilde mi tepki veriyor ve davr*anıyorlar, yoksa panik kelimesi çeşitli bağlamlarda yanlış mı kullanılıyor ve bina sakinleri gerçekte toplumsal olarak kabul edilebilir bir şekilde mantıklı mı davranıyorlar? Panik tanımının anlaşılmasını kolaylaştırmayı* ve daha önceki bazı araştırma bulgu*larından yararlanarak yangın gibi acil bir durumda insanların gerçek davranışlarının ne olduğunu araştırmak gerekir.*

Anahtar sözcükler: yangın, bina, panik, bina sakinleri

HUMAN BEHAVIOR DURING A FIRE

ABSTRACT

The notion idea that panic occurs during a fire is greatly influenced and evaluated by the outcome of the fire. What is meant by this is that a crisis intervention, for example, re-entering a burning and/or collapsing building, is labeled as "panic" if it results in death, while, on the other hand, it is labeled as "heroic" if a similar reaction and response results in saving lives. In other words, it is likely that building residents will often react differently than expected when fire safety systems are installed in buildings. This behavioral contrast is attributed to people's panic reaction and behavior that can contribute to residents showing dysfunctional and irrational reactions. So, do people really react and behave in an irrational, antisocial and panicky way in fire and emergency situations, or is the word panic misused in various contexts and do the residents of the building actually behave sensibly in a socially acceptable way? It is necessary to facilitate the understanding of the definition of panic and to investigate what people's actual behavior is in an emergency situation, such as a fire, using some previous research findings.

Keywords: fire, building, panic, residents of the building

e-posta adresi: hakan.terzi3461@gmail.com

YILLAR BOYUNCA PANİK

Birçok yazar ve uygulayıcı tarafından tartışılmıştır. Yangın alanında, panik kavramının, gerçekte binanın tasarımı veya yönetiminin potansiyel olarak hatalı olduğu halde, bir trajedinin sonucunu sakinlerin üzerine yıkmayı amaçlayan belirsiz bir mit olduğu varsayılıyordu (Fahy & Proulx, 2009). İster genel toplumsal afet planlaması olsun, isterse planlar belirli bir yüksek binada acil durumlarda alan kullanımının yönetimi veya tasarımını içeriyor olsun, herhangi bir başarı elde edilecekse planlamacı doğru bilgi ve anlayışla hareket etmelidir. Modern, endüstriyel toplumlarda afetlerde insan davranışı ve tepkisi, görülebilecek hemen hemen her makul ölçüte göre oldukça iyi ve kabul edilebilirdir. Johnson, paniğin "sosyal ve kültürel kısıtlamalarla kontrol edilemeyen, bencil rekabeti kapsayan bir davranış" olduğunu ileri sürmektedir.

Keating paniğin dört unsurundan söz eder:

1) Azalan kaynaklar aracılığıyla kurtulmayı ummak

2) Bulaşıcı davranış

3) Kişinin kendi güvenliği konusunda saldırgan bir endişe duyması

4) Mantıksız tepkiler

Başka bir tanımlamada Quarantelli (1990) paniği, kaçma davranışıyla belirginleşen akut bir korku tepkisi olarak görmekte ve paniğe kapılan katılımcının kaçma davranışında rasyonel olmadığını ileri sürmektedir.

Başka bir yerde Quarantelli (2001) paniği, tesadüfi, sürekli değişen koşullar tarafından üretilen, ancak yaklaşan tehlikeyi içeren işlevsiz kaçış davranışı olarak tanımlıyor. Ayrıca paniği, histerik bir inanca dayalı kolektif kaçış olarak tanımlıyor.

Oxford İngilizce Sözlüğü paniği "aşırı bir alarm veya korku hissi, güvenliği sağlamak için abartılı veya tedbirsiz çabalara yol açan" şeklinde tanımlıyor (Clarke, 2002).

Clark (2002), burada kısaca tartışılan panik için bazı klasik tanımlar sunmaktadır: Park & Bugress (1924) "panik, dağılmakta olan kalabalıktır". Lang, K., Lang, GE (1961) "panik, grup hedeflerinden aşırı özelleştirme durumuna doğru kolektif bir geri çekilmedir".

LaPierre (1938) "panik davranışı, alay davranışının, öngörülemeyen sonuçlarla koordine olmayan etkileşimin antitezidir". Ve Medical Online sözlüğüne göre panik, mantıklı düşünce veya eylemi engelleyen ani ve güçlü bir korku hissidir.

Başlıca tetikleyiciler arasında şunlar yer alabilir:

- Yangın ölümcül ve öldürücü olabilir ve gerekli ve zorunlu acil çıkışlar ve kaçış prosedür leri belirsiz ve/veya bulunması ve takip edilmesi zorsa, panik kaçınılmazdır.
- Duygusal dengesizlik kontrolden çıkan basit bir kaçış, çevrenin belirli bir bölgesinde güvensizlik hissine yol açabilir.
- Korku- Tehlike ve tuzağa düşme korkusu, panikle ilişkili duygulardan kaynaklanabilir ve izdiham, çiğneme gibi ölümcül ve trajik sonuçlara yol açabilir.
- **Öfke/şiddet** - Öfke veya hiddet duygularının bir kalabalığı ele geçirmesi durumunda şiddet öngörülebilir .
- Mekansal Sınırlamalar – Acil ve tehlikeli bir durumdan kaçmaya çalışırken, her bireyin güvenli bir şekilde oradan çıkabilmesi için yeterli miktarda alan olmalıdır, aksi takdirde insanlar ezilebilir veya boğulabilir.

- Demografi – Belirli yerler veya insan grupları kriz olaylarına neden olur. Örneğin, olayın doğası, duygusal ortamın doğası gereği bir duruma dönüşebilecek gösteriler gibi yıkıcı ve kaotik davranışlara zemin hazırlayabilir.
- Heid (2004), paniği tetiklemek için çeşitli durumların etkileşime girmesi gerektiğini ileri sürmektedir:
- Mağdur, kapalı bir alanda sıkışıp kalma tehlikesini anında algılar.
- Kaçış ve çıkış yolları hızla kapanıyor gibi görünüyor.
- Kaçmak hayatta kalmanın tek yolu ve son çaresi gibi görünüyor.
- Yardım edecek kimse yok.



Almeida, E. ve diğerleri (2008), yangın çıkması durumunda insanların bir binayı terk etmek zorunda kalmaları durumunda ve binanın yapısını yeterince iyi bilmiyorlarsa, diğer çıkışlara ulaşmak çok daha kolay veya daha güvenli olsa bile, giriş olarak kullandıkları çıkışa doğru koşacaklarını belirtmektedir.

Ayrıca çevrelerinde yönlerini kaybedebilirler ve bu nedenle “sürü” veya “toplanma” davranışı gösterebilirler. Sürü ile kastedilen, acil durumlarda görülen bir insan grubu dinamiğidir. Basitçe söylemek gerekirse, insanlar panik hissettiğinde mantıksız davranmaya başlayabilir ve kendi iradeleriyle karar verme yetenekleri en aza indirilebilir, hatta tamamen kaybolabilir.

Bağımsızlık eksikliğinin bir sonucu olarak, insanlar kendilerini tehlikeli durumdan kurtarabilecekleri umuduyla başkalarını takip etme eğilimindedirler.

Gözlemlere dayanarak kanıtlanan bir diğer olgu ise “kemerleşme” olarak adlandırılır ve “yüksek istenen hıza sahip büyük bir kalabalık bir kapıdan geçmeye çalıştığında” ortaya çıkar. “ Kapıdan daha kısa sürede geçmek veya karşıdan gelen yayalara kapıdan geçme şansı vermek yerine, kapı tıkanır ve kalabalık kemer şeklini alır” (Almeida, vd. 2008).

İnsanlar her zaman varış yerlerine ulaşmanın en kısa ve en kolay yolunu bulmaya çalışırlar ki bu çoğu zaman acil bir durumda, mekana girdikleri yol ve kapıdır. Temel prensip “en az çaba prensibi” dir.

Son on yılda bu alanda çok şey yapılmış olsa da, insan davranışına dayanan bilimin diğer bilimsel disiplinlerle tam olarak karşılaştırılamayacağını bilmek zorunludur. Bunun nedeni, esas olarak sonuçların ve varsayımların matematik ve fizik gibi evrensel bir geçerliliğe ve tekdüzeliğe dayanmaması olabilir.

Örneğin, İsveç›te yürütülen bir araştırmanın tüm dünyada uygulandığı varsayılamaz. Aynı şey, yaş veya cinsiyet gibi belirli bir test grubu üzerinde yapılan çalışmalar için de söylenebilir. Sonuçların diğer gruplara uygun şekilde uygulanması belirsiz ve muğlak görünüyor. Bunun nedeni, çoğunlukla kültürel, sosyal ve jeolojik ortamların çeşitliliğine bağlı olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Örneğin İsveç›te yangın tatbikatları ilkokul yıllarında yaygın bir olaydır ve bu, acil bir durumda kişinin davranışlarını ve eylemlerini etkileyecektir. Oysa aynı şey, okul erişiminin sınırlı olduğu veya hiç olmadığı gelişmekte olan ülkeler için güvenle söylenemez. Bu nedenle, bu kadar çeşitli bir geçmişe ve bilgiye sahip kişilerin benzer şekilde davranması beklenmez (Markus Friberg & Michael Hjelm, 2014).

Yangına yakalanan insanların paniğe kapılıp çılgınca davranışlar sergileyeceğine inanmak yaygın bir yanılgıdır. Bunun yerine, izdihamda kaçmaya çalışmak, başkalarını ezmek ve onlarla kavga etmek gibi çılgınca davranışlar aslında son derece nadirdir.

Rasyonel normal davranış ile görünüşte irrasyonel panik davranışı arasındaki geçiş, dalgalanma güçlerini, istenen hızı ve sürü eğilimini etkileyen tek bir parametre olan «sinirlilik» tarafından kontrol edilir.

Varsayılan panik, yangında insan davranışı için oldukça atipiktir. İnsanların yangın anındaki durum anlayışlarına göre rasyonel, mantıksal ve fedakar tepki ve karar verme uygulaması muhtemeldir. Ancak, geriye dönüp bakıldığında, bazı kararlar optimum görünmeyebilir ve yangının sonucunu olumsuz etkileyebilir.

Yangın sırasında paniğin meydana geldiği fikri, yangının sonucuyla büyük ölçüde etkilenir ve yargılanır. Bununla kastedilen, örneğin, yanan ve/veya çöken bir binaya tekrar girmek gibi bir kriz müdahalesinin ölümle sonuçlanması durumunda “panik” olarak etiketlenmesi, buna karşılık, benzer tepki ve reaksiyon hayatların kurtarılmasıyla sonuçlandığında “kahramanca” olarak etiketlenmesidir.

Yangında tüm insan davranışlarında, olay öznenin bakış açısından görüldüğünde mantıklı hale getirilebilir (Fahy & Proulx, 2009). Başka bir yerde, Tingguang ve diğerleri (2011) paniğin ölçülebilen bir şey olmadığını, ancak çıkarılabileceğini öne sürüyor. İlk müdahale edenlerin çoğu, olay yerinden gerçek bir panik gözlemlemeden, geriye dönük olarak, paniği sonuçlardan çıkarmıştır.



Panik kavramının termodinamikteki entropiye benzer bir kavram olduğu varsayılabilir. Değişmez bir şekilde, yangın entropisini doğrudan ölçemeyiz, ancak bunu sıcaklık, akış vb. ölçümünden çıkarabiliriz. Benzer şekilde, paniği doğrudan ölçemeyiz, bunun yerine seviyesini iç ezici kuvvetlerin seviyesi, kaç ayakkabının yerinden çıktığı, kaç kişinin başkalarının hatası nedeniyle öldüğü vb. gibi diğer ölçülebilir niceliklerden çıkarabiliriz.

Ayrıca, yaygın inanışın aksine, yangınla ilgili sonuçlara katkıda bulunan şey panik eksikliğidir. Londra İtfaiye Kurtarma Servisi Bölüm görevlisi Neil Townsend, "insanlar yangında öldüğünde, bunun panikten değil, daha çok panik eksikliğinden kaynaklandığını" belirtmektedir. Ancak, Markus Friberg ve Michael Hjelm (2014), yangın ve acil durumlardaki davranışı anlamak için, herkesin belirli bir durumda aynı şekilde davranmayacağını bilmek gerektiğine inanmaktadır.

Bu nedenle, öncelikle yaş, cinsiyet, eğitim seviyesi, önceki deneyim ve kültürel etki gibi farklı özelliklerin ve faktörlerin ne olduğunu bilmek hayati önem taşır. Ayrıca, bu faktörlerin tahliye sırasında nasıl bir etkiye sahip olduğunu bilmek de gereklidir.

Bu bağlamda Drager Safety AG & Co. KGaA, acil durumlarda insan davranışı hakkında üç efsane (yanlış anlama) olduğunu bildirmektedir. Bunlar:

1) Çalışanlar, acil bir durumda insanların ek sinyalleri beklediklerini, bunun yanlış veya test alarmı olup olmadığını birbirleriyle tartıştıklarını ve böylece yaşamla ölüm arasındaki farkı belirginleştirebilecek saniyeleri boşa harcadıklarını anlatan bir alarma hemen yanıt verirler.

2) İnsanlar bir alarmın gerçek olduğunu anladıkları anda paniğe kapılırlar, oysa gerçekte panik ne otomatik ne de çok tipik bir tepkidir.

Ve son olarak:

3) Aslında herkes sadece kendini kurtarmayı düşünür.

Şimdi akla şu soru gelebilir: **İnsanlar yangında paniğe kapılmazsa aslında ne yaparlar?**

a) Yaş, hareket kabiliyeti, bilgi, deneyim, olay anında kişinin durumu, kişilik ve karar alma stilleri gibi kullanıcı profili de dahil olmak üzere kullanıcı özellikleri ve son olarak kullanıcı binadaki rolü farklı tepkileri açıklayabilir.

b) Binanın mimarisini, yangın anında binada gerçekleşen faaliyetleri ve son olarak binanın yangın güvenliği özelliklerini kapsayan bina özellikleri

c) Yangının özellikleri, insanların durumu algılama ve yorumlama biçimleriyle sıkı sıkıya iç içedir.

Örneğin, duman kokusunu algılamak, yangını doğrudan görmekten farklı bir tepki başlatacaktır. İnsanların yangın çıktığının farkına vardıklarında bile devam eden faaliyetlerine bağlı kalmaları olarak tanımlanan bağlılık kavramı başka bir neden olabilir. Başka bir deyişle, insanlar belirli bir aktiviteyi gerçekleştirmeye yönelik bir karar planına sahiptirler ve dikkatlerini ilgisiz bir şeye kaydırma konusunda isteksizdirler.

Ayrıca, yangın sırasında karar alma, günlük karar alma sürecinden farklıdır. Acil ve stresli durumlarda, kişi genellikle kararların hızlı bir şekilde alınması gerektiğini hissederken, kararları almak için ihtiyaç duyduğu mevcut bilgiler çok sınırlı veya ezici olabilir. Bu nedenle, gözlemciye düzensiz görünebilecek kaçış gibi davranışlar, tahliye olan sakin tarafından algılanan tehdit edici uyarana karşı en rasyonel, mantıklı ve doğru tepki olabilir.

Dört insan davranış kalıbı:

Quarantelli'nin (1980) kavramına göre, yangın ve acil durumlarda insan davranışı ve tahliye süreci söz konusu olduğunda, insanlarda beş tür davranış örüntüsü görülmektedir.

Bunlar; uyarı, geri çekilme hareketi, barınma ve geri dönüş şeklindedir.

- Uyarı kalıpları, bireylerin olası tehditlere karşı uyanık olma veya gerçek sonuçlarını öğrenme davranışlarını ifade eder.

- Geri çekilme hareketi kalıpları, tahliye sürecinin gerçek fiziksel uçuş davranışıyla ilgili olan kısmını ifade eder.

- Sığınma ***örüntüleri***, sığınma yerindeki davranışlar olarak bilinir.

- Son olarak, geri dönüş kalıpları tahliye edilen kişinin sığınma yerini terk ederken ve hemen hemen tüm durumlarda ilk ayrılış alanına geri dönerken sergilediği davranışları içerir.



Çözüm:

Panik çok nadir gerçekleşen bir olay olarak kabul edilebilir ve insanların tehlikeyi algılamasına tipik bir tepki değildir. Panik davranışı, çok ölümcül ve hemen tehdit edici bir durumdan kaçış ve çıkışın mümkün olduğu algısı gibi belirli özel koşulları gerektirir. Bu nedenle, bina sakinleri tarafından geçerli ve sosyal olarak doğrulanmış olarak algılanan uyarı mesajları, rutin ve geleneksel rol ve sorumlulukların unutulmasına, göz ardı edilmesine ve terk edilmesine yol açmaz (Quarantelli, 1990). Bir bina yangını tahliyesi sırasındaki davranışlar insanların hareket edebileceği fiziksel ve sosyal ipuçları ve uyaranlarla başlayan farklı bileşenleri ve aşamaları olan davranışsal süreçten etkilenir ve ayrıca algılama, yorumlama, karar verme ve son olarak eylem üstlenme gerektirir.

Acil durumlarda kitlesel panik ve bencil davranışlar hakkında pek fazla somut kanıt yoktur. Bunun yerine, kalabalıklarla ilişkili riskler genellikle onların içsel bencilliğinden ziyade fiziksel kısıtlamalar ve bilgi eksikliğinin bir sonucudur.

Sağlanan tartışmanın çeşitli yönlerine dayanarak, insanların bir bina yangını durumunda normalde takip etmeye çalıştıkları hedeflerle uyumlu insan performansı hedeflerini nasıl tasarlayacağımızı öğrenmeliyiz. Ayrıca, bina düzenleri, hem aktif hem de pasif yangın koruma sistemleri, özellikleri ve tasarlanmış pro-

sedürler dahil olmak üzere bina yangın önleme ve koruma sistemlerinin üst düzey tasarım hedeflerine ulaşmak için nasıl el ele çalıştığının bütünsel bir temsiline insan performansı hedeflerini nasıl entegre edeceğimizi de öğrenmeliyiz.

Bu nedenle, toplumlarımızın güvenliğinden sorumlu olan bizler**,** insanların hayat kurtarıcı kararlar alabilmeleri için ihtiyaç duydukları doğru ve kesin bilgileri sağlamak zorundayız.

Ayrıca, yangın güvenliği yönetmeliklerinde kullanılan doluluk sınıflandırmaları, örneğin yalnızca yangın yükü/yangın şiddetine değil, uygun doluluk özelliklerine dayanmalıdır. Bu nedenle, insanların acil durumlarda gerçekte ve doğal olarak ne yapmaya meyilli olduklarını öğrenmek ve planınızı buna göre yapmak, planınızı tasarlayıp insanların buna uymasını beklemekten daha etkili ve pratiktir.

KAYNAKLAR

- Almeid, J. ve diğerleri, (2008). Çoklu Ajan Sistemleri Kullanılarak Acil Durum ve Tahliye Simülasyonlarına Uygulanan Kalabalık Simülasyon Modellemesi, Giriş.
- Clarke, L. (2002). Panik: Efsane mi Gerçek mi? 21-25.
- Cocking, C. (2008). Panik Yapmayın! Acil Durumlarda Kalabalık Davranışı: Profesyoneller için çıkarımlar, London Metropolitan Üniversitesi.
- Fahy, RF ve Proulx, G. (2009). Yangında Panik ve İnsan Davranışı, İnşaat Araştırma Enstitüsü, NRCC-51384, Kanada Ulusal Araştırma Konseyi, Arka Plan.
- Gwynne, SMV ve diğerleri. Yangında İnsan Davranışı – Model Geliştirme ve Uygulama. Ulusal Araştırma Konseyi, Kanada: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, ABD: Arup, İngiltere.
- Helbing, D., ve diğerleri (2008). Normal ve Tahliye Durumlarında Yaya Kalabalıklarının Simülasyonu, Ekonomi ve Trafik Enstitüsü, Trafik Bilimleri Fakültesi, Dresden Teknoloji Üniversitesi, Almanya
- Heide, E. (2004). Felaketler Hakkındaki Yaygın Yanlış Anlamalar: Panik, “Felaket Sendromu” ve Yağma. Linclon (Neraska), iUniversity Publishing, isbn=0-595-31084-2, 340-364.
- Kuligowski, E. (2009). Yangınlarda İnsan Davranışı Süreci, Yangın Araştırma Bölümü, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, ABD Ticaret Bakanlığı. 4-9.
- Friberg, M. & Hjelm, M. (2014). Toplu Tahliye – İnsan Davranışı ve Kalabalık Dinamikleri. Yangın Güvenliği Mühendisliği Bölümü, Lund Üniversitesi, İsveç. 12.
- Proulx, G. (2001). İşgalci Davranışı ve Tahliye. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi, 9. Uluslararası Yangından Korunma Semineri, Münih, 1-11.
- Quarantelli, EL (1975). Panik Davranışı: Bazı Ampirik Gözlemler, Afet Araştırma Merkezi ve Sosyoloji Bölümü, Ohio Eyalet Üniversitesi, Columus, Chio 43201, 1-18.
- Quarantelli, EL (1980). Tahliye Davranışı ve Sorunları, Araştırma Literatüründen Bulgular ve Sonuçlar. Afet Araştırma Merkezi. Ohio Eyalet Üniversitesi, Columbus, Ohio 43210.
- Quarantelli, EL (1986). Afetlerde Örgütsel Davranış. Afet Araştırma Merkezi, Delaware Üniversitesi, 2-15.

- Quarantelli, EL (1990). Uyarı Süreci ve Tahliye Davranışı: Araştırma Kanıtları, Delware Üniversitesi. Afet Araştırma Merkezi, 3-10.
- Quarantelli, EL (1999). Afetle İlgili Sosyal Davranış: 50 Yıllık Araştırma Bulgularının Özeti. Afet Araştırma Merkezi, Delware Üniversitesi ABD, 1-7.
- Quarantelli, EL (2001). Panik Sosyolojisi, Delware Üniversitesi, Afet Araştırma Merkezi, 2-9.
- Santos, G., & Aguirre, B. (2004). Acil Durum Tahliye Simülasyon Modellerinin Eleştirel Bir İncelemesi. Delware Üniversitesi, Afet Araştırma Merkezi, 5-42.
- Tingguang, M. (2011). Kalabalık Felaketlerini Simüle Etmede Panik Modelinin Faydası. Oklahama Eyalet Üniversitesi Yangın Koruma ve Güvenlik Teknolojisi Departmanı, 2-6.
- İTÜ Taşkışla-Yapı Fiziği Derneği Mimarlık ve Yangın Sempozyumu 2025 Yangında İnsan Davranışları (İlker Hakan Terzioğlu)

KISA ÖZGEÇMİŞ

İlker Hakan TERZİOĞLU
1970 yılında Kartaltepe/Bakırköy'de dünyaya geldim.
Aslan Akçaabat/ Trabzon' lu yum.
İstanbul Üniversitesi Sosyoloji, Anadolu Üniversitesi Uluslararası İlişkiler, American Metropolitan University Mimarlık Bölümü mezunuyum. ''Sürdürülebilir ve Düşük Karbon Emisyonlu Kentsel Alanlar İçin Eko Şehir Kavramı'' konulu doktoramı yaptım.
Çeşitli Yapı firmalarında yaklaşık otuz yıl yöneticilik yaptım. Halende yapmaktayım.
İstanbul Valiliği KTYG İnsan Hakları Kurulu Üyeliği,
İstanbul Adliyesi Gayrimenkul Hukuku Ceza-Hukuk Bilirkişiliği ve Adli Trafik Bilirkişiliği yaptım.
Uluslararası Tarım Ve Gıda Konfederasyonu Tarım Dışı Sektörler Baş Danışmanı, İstişare Kurulu Üyesi ve Fahri Gıda Müfettişleri Genel Koordinatörlüğü yaptım.
Çeşitli Siyasi Partilerde üst üste Milletvekili Adayı ve Belediye Meclis Üyesi Adayı oldum.
Bir siyasi partinin Kurucu Yüksek İstişare Kurulu Üyeliğini yaptım.
Uluslararası mimari ve kentsel dönüşüm yarışmalarında ülkemizi temsil ederek birçok ödüle layık görüldüm. 2021 yılında Brezilya'nın Rio De Janeiro şehrinde Uluslararası Mimarlar Derneği'nin ve çeşitli kuruluşların düzenlediği 27.Dünya Mimarlar Kongresi'nde ''Kentsel Dönüşüm ve Kentleşmede Kentleşme Hukuku ve Politikası'' adlı makalem ile ülkemizi temsil ettim.
İsveç'in Amal Belediyesi'nden katı atık ve tıbbi atıkların bertarafı ve gaz şeklinde enerjiye dönüşümü ile ilgili bir projemle ve 101 Kemeraltı Efsanesi /İzmir Projesi'nde eski Kışla-ı Humayun (Sarıkışla) Binası ve 3 Şehir 3 Aşk Projelerinde 2 T.B.M.M. Binası tasarımlarından ödüllere layık görüldüm.
Halen T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı & T.C. Ticaret Bakanlığı, Türkiye Müteahhitler Birliği Sürdürülebilirlik ve Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Üyesi olup, Yeşil Finansman ve Karbon Fiyatlama Danışmanı olarak görev yapıyorum.
Boğaziçi Üniversitesi KAKAD Yedek Yönetim Kurulu Üyesiyim.
Birçok yurtiçi ve uluslararası kongre, konferans ve çalıştaylara katılmaktayım.
Resmi Delege olarak COP serileri ile yurtdışı birçok kurum ve üniversitelere sunum yapmaktayım.
''Korkmuş Gibi Sarıl Bana'' adlı şiir kitabım, ''Kavun Tanecikleri'' adlı roman kitabım ve ''Sürdürülebilir ve Düşük Karbon Emisyonlu Kentsel Alanlar İçin Eko Şehir Kavramı'' adlı kitaplarım mevcuttur.

BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİĞİN 3. KISIM HÜKÜMLERİNİN TASLAK METİN İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Füsun DEMİREL
Zuhal ÖZÇETİN
Merve GÖRKEM
Ayşe Mehlika TOP
Berfin DOĞAN
Haticetülkübra ÖÇSOY
Esranur ERGÜL

ÖZET

Son dönemde ülkemizde meydana gelen yangınlar, önemli ölçüde can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Alınabilecek yangın güvenlik önlemleriyle yangınların sebep olduğu zarar ve kayıpları en aza indirmek mümkündür. Bu doğrultuda, ülkemizde yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)'in incelenmesi ile yürürlüğe girmesi planlanan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Taslağı (BYKHYT)'nda yapılan değişikliklerin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada; BYKHY'nin 3. Kısım, "Kaçış Yolları, Kaçış Merdivenleri ve Özel Durumlar" başlığı altında yer alan maddelerin; BYKHYT'ndaki karşılıklarının incelenmesi ve bu kapsamda yapılan değişikliklerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmış ve 3.bölüm ile sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda çalışmada; tümevarım yöntemi kullanılmış ve bu yöntem doğrultusunda belirlenen maddeler, mevcut ve taslak halleriyle ayrı ayrı incelenerek karşılaştırılmış ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Maddelerin incelenmesi sürecinde, National Fire Protection Association (NFPA), British Standards (BS), Singapur yangın yönetmeliklerinden de yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda; taslak yönetmelik metninde yapılan değişikliklerin olumlu ya da olumsuz yönleri analiz edilerek, değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, yönetmeliğin bu çalışmada ele alınmayan pasif önlemleri içeren maddelerinin de değerlendirilerek, yeni yönetmeliğin bütüncül bir şekilde incelenmesi planlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Yangın, yönetmelik, yangın güvenliği, yangından korunma.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PART 3 OF THE REGULATION ON THE PROTECTION OF BUILDINGS FROM FIRE AND THE DRAFT TEXT

ABSTRACT

Recent fires in our country have caused significant loss of life and property. It is possible to minimize the damage and losses caused by fires through fire safety measures that can be implemented. In this regard, it is of great importance to examine the currently enforced *Regulation on Fire Protection of Buildings* in Türkiye (BYKHY) and to evaluate the amendments introduced in the Draft *Regulation on Fire Protection of Buildings* (BYKHYT), which is planned to enter into force. This study aims to examine the corresponding provisions in the BYKHYT for the articles included under Part 3 of the BYKHY, titled "Escape Routes, Escape Stairs and Special Cases," and to identify and evaluate the changes made within this scope. Accordingly, the study is limited to Part 3. In this context, the inductive method was used. In line with this method, the selected articles were examined separately in their current and draft versions, compared, and evaluated through a holistic approach. During the examination of the articles, the fire regulations of National Fire

Protection Association (NFPA), British Standards (BS) and Singapore were also utilized. As a result of the study, the positive and negative aspects of the amendments made in the draft regulation text were analyzed and evaluated. In future studies, it is planned to examine the new regulation more comprehensively by evaluating the articles involving passive fire protection measures that were not addressed in this study.

Key words: Fire, regulation, fire safety, fire protection.

1. GİRİŞ

Binalarda çeşitli nedenlerle ortaya çıkan yangınlar, can ve mal güvenliği açısından büyük riskler oluşturmaktadır. Bu riskleri azaltmak ve kullanıcıların yangın güvenliğini sağlamak için birtakım tasarım kararları alınmaktadır. Binalarda yangın güvenliği açısından, kullanıcıların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesini sağlayan kaçış yollarının düzenlenmesi, kaçış merdivenlerinin konumlandırılması ve özel kullanım durumlarına ilişkin gerekli kararlarının alınması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda incelenen 30-52. maddelerde yer alan pasif yangın güvenlik önlemleri, mimari projenin tasarım aşamasında projeye entegre edilen ve yapının yaşam döngüsü boyunca varlığını sürdüren yangın güvenliği kararlarıdır. Kaçış yollarının ve kaçış merdivenlerinin doğru planlanması, yangın kaçış alanlarının yatay ve düşey doğrultuda sürekliliğinin sağlanması, yapı malzemelerinin yangına dayanım özellikleri dikkate alınarak seçilmesi yangın anında can güvenliğinin sağlanması açısından temel pasif yangın güvenlik önlemleri arasında yer almaktadır (Demirel ve diğ.,2017).

Son dönemde ülkemizde meydana gelen büyük Bolu Grand Kartal Otel yangını (Anadolu Ajansı, 2026), yapıların yangın güvenliği bakımından yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu olay, özellikle kullanıcı tahliyesi, kaçış yollarının sürekliliği, kaçış merdivenlerinin güvenliği gibi pasif yangın güvenlik önlemlerinin yapı tasarımındaki önemini tekrar göstermiştir. Yangın yönetmelikleri; yapıların tasarım, yapım, işletim ve bakım aşamalarında yangın güvenliğinin sağlanması, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi amacıyla yasal zorunlulukları belirleyen temel düzenleyici belgelerdir. Bu yönetmeliklerin hazırlanması, can ve mal güvenliğinin sağlanması ile yangın risklerinin etkin şekilde yönetilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in ilgili hükümlerinin incelenmesi ve yürürlüğe girmesi planlanan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Taslağı'nda yapılan değişikliklerin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in 3. Kısım "Kaçış Yolları, Kaçış Merdivenleri ve Özel Durumlar" başlığı altında yer alan maddeleri ile Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Taslağı'ndaki ilgili maddeleri karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Çalışmanın temel amacı, mevcut yönetmelik ile taslak yönetmelik arasındaki değişikliklerin tespit edilmesi, bu değişikliklerin içerik açısından incelenmesi ve olumlu ya da olumsuz yönleriyle analiz edilmesidir.

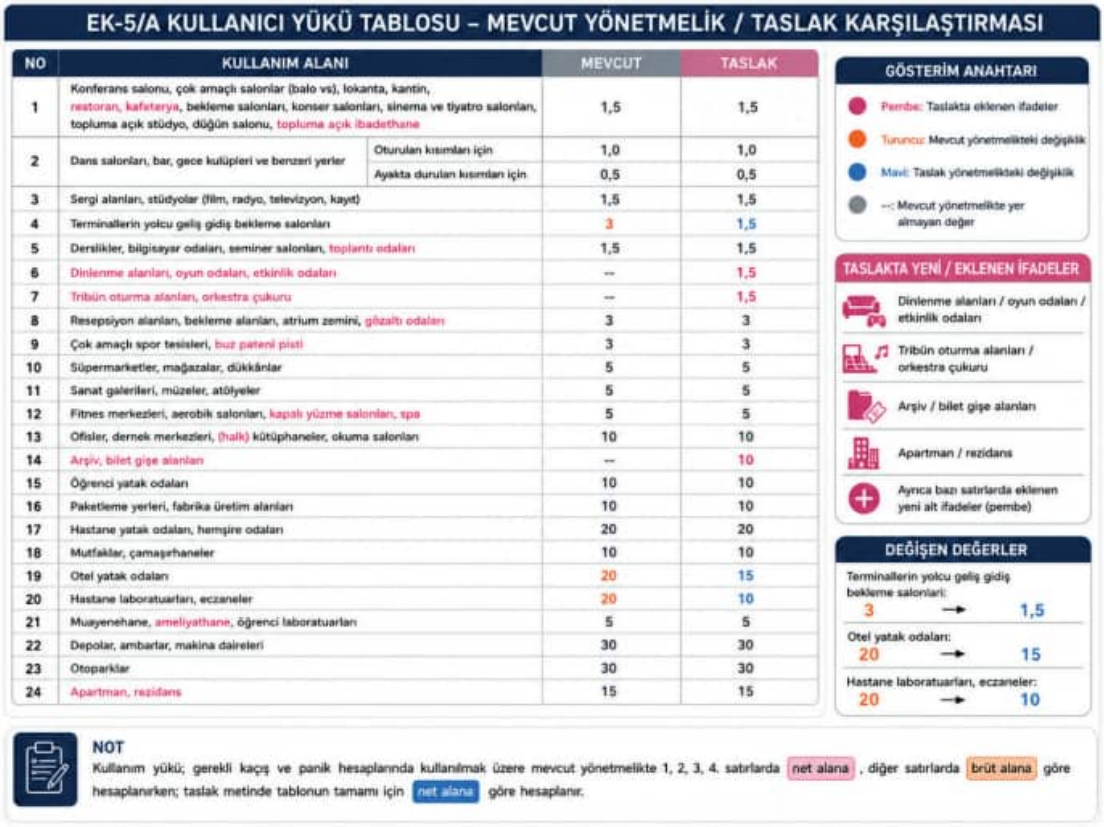
2. YÖNTEM VE ANALİZ: MADDELERİN İNCELENMESİ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in 3. Kısım "Kaçış Yolları, Kaçış Merdivenleri ve Özel Durumlar" başlığı altında yer alan 30–52. Maddeleri incelenmiştir. Maddelerin analiz sürecinde öncelikle maddenin açıklanması, ardından yapılan değişikliğin anlatılması ve bu değişikliğin olumlu ya da olumsuz olarak değerlendirilmesi ve bunun sebeplerinin açıklaması yapılmıştır.

BYKHY Madde 31'in 1. fıkrasında, kaçış yolunun bir yapının herhangi bir noktasından yer seviyesindeki caddeye kadar devam eden ve hiçbir şekilde engellenmemiş olan yolun tamamını kapsadığı belirtilmektedir. BYKHYT'de "yer seviyesindeki caddeye kadar" ifadesi "güvenli alana kadar" şeklinde değiştirilmiştir. Güvenli alanın her durumda yer seviyesindeki bir cadde veya sokakla sınırlı olmaması nedeniyle kaçış yolu-

nun güvenli alana kadar tanımlanması, farklı yapı ve yerleşim koşullarını kapsaması bakımından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Ancak Madde 4'ün (ü) bendinde kaçış yolunun hâlen "yer seviyesindeki cadde veya sokağa kadar" şeklinde tanımlanması, yönetmeliğin farklı maddeleri arasında terminolojik açıdan tutarsızlık oluşturmaktadır. Madde 31'in 7. fıkrasında ise, bir katı geçmeyen açık merdivenler ile bir kat inilerek veya çıkılarak bina dışına tahliyenin sağlandığı kata ulaştıran yürüyen merdivenlerin ve rampaların kaçış yolu olarak kabul edilebileceği belirtilmektedir. BYKHYT'de, rampaların bu fıkra kapsamında kaçış yolu olarak kabul edilmesine ilişkin ifade kaldırılmıştır. Bu alternatifin, eğim sınırlamalarına da yer verilerek, BYKHYT'nda da yer almasının olumlu olacağı düşünülmektedir.

BYKHY Madde 32'nin 1. fıkrasında, gerekli kaçış ve panik hesaplarında kullanılacak kullanıcı yükünün Ek-5/A'da yer aldığı belirtilmektedir. BYKHYT'de Ek-5/A tablosunda yer alan bazı kullanım alanları yeniden düzenlenmiş, mevcut kullanım alanlarına yeni ifadeler eklenmiş ve tabloda daha önce yer almayan bazı kullanım türleri için yeni katsayılar tanımlanmıştır. Bu kapsamda; restoran, kafeterya, topluma açık ibadethane, toplantı odaları, gözaltı odaları, buz pateni pistleri, kapalı yüzme salonları, spa alanları, halk kütüphaneleri ve ameliyathaneler ilgili kullanım sınıflarına eklenmiştir (Şekil 1). Ayrıca dinlenme alanları, oyun ve etkinlik odaları; tribün oturma alanları ve orkestra çukurları; arşiv ve bilet gişe alanları ile apartman ve rezidanslar tabloda ayrı kullanım alanları olarak tanımlanmıştır. Bu değişiklikler, farklı kullanım biçimlerinin hesaplamalarda hangi katsayı üzerinden değerlendirileceğini daha açık hâle getirmesi ve tabloda bulunmayan güncel kullanımlara ilişkin belirsizlikleri azaltması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Ek-5/A Tablosunda Yapılan Değişiklikler

BYKHYT'de dinlenme alanları, oyun ve etkinlik odaları ile tribün oturma alanları ve orkestra çukurları için 1,5 m²/kişi; arşiv ve bilet gişe alanları için 10 m²/kişi; apartman ve rezidanslar için ise 15 m²/kişi kullanım yükü katsayısı belirlenmiştir. Tabloda kullanım yükü katsayılarının büyük bölümü korunmakla birlikte, terminallerin yolcu geliş ve gidiş bekleme salonlarında BYKHY'de 3 m²/kişi olan değer BYKHYT'de 1,5 m²/kişiye, otel yatak odalarında 20 m²/kişi olan değer 15 m²/kişiye, hastane laboratuvarları ve eczanelerde ise 20 m²/kişi olan değer 10 m²/kişiye düşürülmüştür (Şekil 1). Kullanım yükü katsayısının düşürülmesi, aynı büyüklükteki bir mekânda hesaplanan kullanıcı sayısını artırmakta ve buna bağlı olarak daha yüksek kaçış

kapasitesi sağlanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle söz konusu değişiklikler, kaçış yollarının daha yüksek kullanıcı yüküne göre boyutlandırılmasını sağlaması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

BYKHY'de kullanıcı yükü tablosunun ilk dört satırında net alan, diğer satırlarında ise brüt alan üzerinden yapılması öngörülürken, BYKHYT'de tablonun tamamının net alan üzerinden değerlendirilmesi esas alınmıştır. Hesaplama yönteminin bütün kullanım alanları için tek bir alan tanımı üzerinden düzenlenmesi, uygulamadaki farklı yorumları azaltması ve hesap yönteminde birlik sağlaması bakımından olumlu olarak değerlendirilebilir.

EK-5/A Kullanım Yükü tablosunda yapılan değişiklikler incelendiğinde, BYKHYT'deki birçok kullanım yükü katsayısının Singapur Yangın Yönetmeliği Tablo 1.4B'de yer alan kullanım yükü faktörleri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Özellikle apartman ve rezidanslar için 15 m²/kişi, ofisler için 10 m²/kişi, derslikler için 1,5 m²/kişi ile depo ve otoparklar için 30 m²/kişi değerleri her iki yönetmelikte de aynıdır. Ayrıca bazı katsayıların BYKHYT'de değiştirilerek Singapur Yangın Yönetmeliği'ndeki değerlere yaklaştırıldığı görülmektedir. Bu durum, kullanım yükü hesaplarına ilişkin yapılan düzenlemelerin hazırlanmasında Singapur Yangın Yönetmeliği'nin referans alındığını düşündürmektedir. Bununla birlikte, BR Yönetmeliği'ndeki kullanıcı yükü değerleri de incelenmiş olup, BYKHY'de yer alan bazı kullanım yükü katsayıları ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

BYKHY Madde 32'nin 4. fıkrasında, kullanılan bir mekân içindeki en uzak noktadan en yakın çıkışa kadar olan kaçış uzaklıklarının Ek-5/B'de belirtilen sınırları aşmaması gerektiği belirtilmektedir. BYKHYT'de Ek-5/B tablosundaki kullanım sınıfları yeniden düzenlenmiş, bazı kullanım sınıfları kaldırılarak daha kapsayıcı başlıklar oluşturulmuş ve kaçış merdivenleri ile koridorlara ilişkin minimum genişlik değerleri tabloya eklenmiştir. Bu kapsamda "endüstri yapıları" ifadesi "endüstriyel amaçlı yapılar" şeklinde değiştirilmiş, "yurtlar ve yatakhaneler" kullanım sınıfından yatakhaneler çıkarılarak, sınıf yalnızca yurtlar üzerinden tanımlanmıştır. "Mağazalar, dükkânlar ve marketler" kullanım sınıfının yerine "ticaret amaçlı binalar ve ayakta tedavi merkezleri"; "hastaneler ve huzurevleri" kullanım sınıfının yerine "yataklı sağlık yapıları, ceza ve tevkifevleri binaları"; "oteller ve pansiyonlar" kullanım sınıfının yerine ise "konaklama amaçlı binalar (yurtlar hariç)" kullanım sınıfı eklenmiştir (Şekil 2). Bu değişiklikler, yapıların yalnızca belirli kullanım örnekleri üzerinden değil, daha kapsayıcı kullanım sınıfları altında değerlendirilmesini sağlaması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Ek-5/B Tablosunda Yapılan Değişiklikler

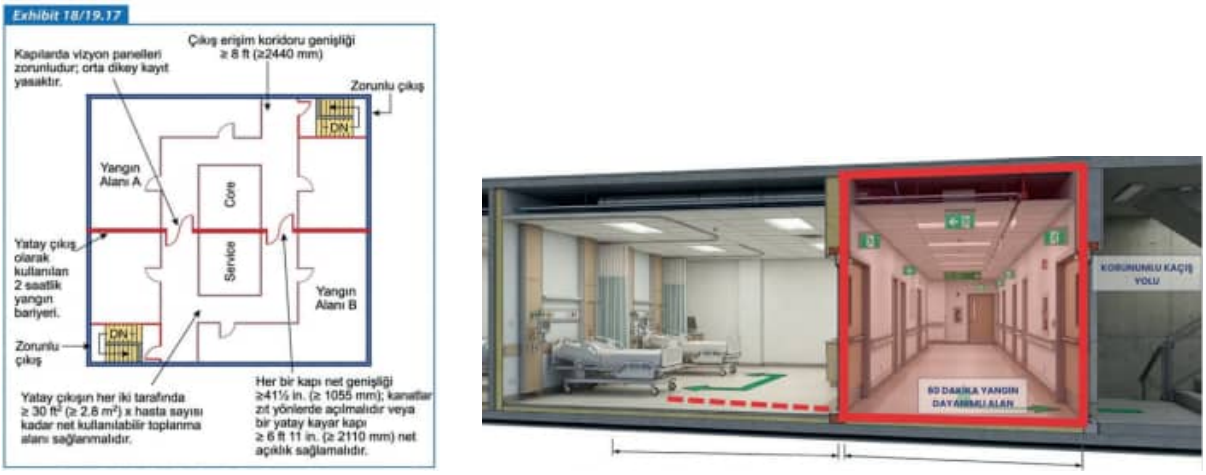
Tabloda tek ve iki yönlü kaçış uzaklıkları, çıkmaz koridor uzunlukları ve birim genişlik için öngörülen kullanıcı sayıları büyük ölçüde korunmuştur. Bununla birlikte, yataklı sağlık yapıları ile ceza ve tevkifevleri binalarında kaçış merdivenleri için birim genişlik başına düşen kişi sayısı 30'dan 15'e düşürülmüştür. Birim

genişlik başına kabul edilen kişi sayısının azaltılması, aynı kullanıcı yükü için daha geniş kaçış merdiveni düzenlenmesini gerektirdiğinden, özellikle hareket kabiliyeti sınırlı kullanıcıların (engelli bireyler) bulunabileceği yataklı sağlık yapılarında tahliye güvenliğini artırması bakımından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. BYKHYT'de ayrıca kaçış merdivenleri ve koridorlar için "minimum genişlik" başlığı altında yeni ölçütler tanımlanmıştır. Buna göre kaçış merdivenleri için genel olarak en az 1 m, koridorlar için ise en az 1,20 m genişlik öngörülmüştür. Yüksek binalardaki kaçış merdivenlerinin en az 1,20 m, konut içerisindeki kaçışı sağlayan merdivenlerin ise en az 90 cm genişliğinde olması gerektiği belirtilmiştir. Hastalara hizmet veren koridorlar için minimum genişlik 2 m, dersliklere hizmet veren koridorlar için 1,50 m olarak belirlenmiş; bu yapılar içerisindeki diğer koridorların ise en az 1,20 m genişliğinde olması gerektiği ifade edilmiştir (Şekil 2). Minimum genişlik değerlerinin açık ve ölçülebilir biçimde tabloya eklenmesi, düşük kullanıcı yüküne sahip mekânlarda dahi kaçış elemanlarının belirli bir genişliğin altında tasarlanmasını önlemesi ve uygulamadaki belirsizlikleri azaltması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Ek-5/B tablosunda yapılan değişiklikler incelendiğinde, düzenlemelerin önemli ölçüde Singapur Yangın Yönetmeliği Tablo 2.2A ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kullanım sınıflarının gruplandırılması ile BYKHYT'nin önemli yeniliklerinden biri olan kaçış elemanlarına ilişkin minimum genişlik kriterlerinin eklenmesi, Singapur mevzuatındaki düzenlemelerle paralellik göstermektedir.

BYKHY madde 32'nin 5. fıkrasında, odalara, koridorlara ve benzeri alt bölümlere ayrılmış büyük alanlı bir katta direkt (kuş uçuşu) kaçış uzaklığının Ek-5/B'de izin verilen en fazla kaçış uzaklığının 2/3'ünü aşmaması hâlinde kabul edilebileceği belirtilmektedir. BYKHYT'de ; "kuş uçuşu" ifadesi kaldırılmış ve hüküm açık planlı katlar üzerinden yeniden düzenlenmiştir. Bu değişiklik, kaçış uzaklığının değerlendirilmesinde ortaya çıkabilecek belirsizlikleri azaltması ve hükmün uygulanacağı mekânsal koşulları daha açık hâle getirmesi bakımından olumlu değerlendirilmiştir. Ayrıca, kaçış mesafesinin doğrusal (kuş uçuşu) uzaklık yerine kullanıcıların fiilen izleyeceği yürüme güzergâhı esas alınarak değerlendirilmesi, tahliyeyi gerçek kullanıma daha uygun hâle getirmesi ve yangın güvenliği açısından daha doğru bir düzenleme olarak değerlendirilmektedir.

Yatay tahliye alanı, yangın sırasında bina kullanıcılarının aynı kat üzerinde, yangına dayanıklı yapı elemanlarıyla ayrılmış güvenli bir bölmeye geçerek tahliye sürecini güvenli şekilde sürdürebilmelerine olanak sağlayan korunaklı alandır (Şekil 3). BYKHY Madde 32'nin 7. fıkrasında, yangına en az 60 dakika dayanıklı ve duman geçişi önlenmiş yatay tahliye alanı sağlanan hastane gibi yerlerde kaçış uzaklığının, yatay tahliye alanına götüren koridorun çıkış kapısına kadar ölçüleceği belirtilmektedir. BYKHYT'de; "hastane gibi yerler" ifadesi "yataklı sağlık yapıları" şeklinde genişletilmiş, ayrıca depolar ile endüstriyel yapılar da hükmün kapsamına dâhil edilmiştir. Bu değişiklik, yatay tahliye uygulamasının gerekli olabileceği yapı kullanım sınıflarını daha açık biçimde tanımlaması ve farklı risk gruplarını kapsaması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

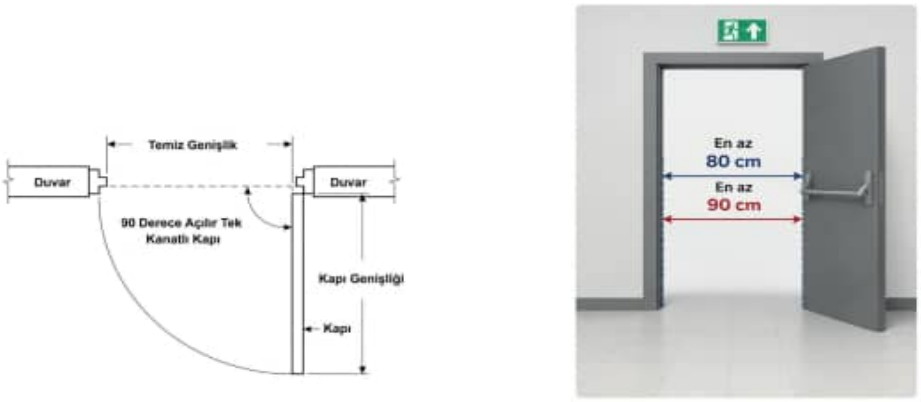


(a) (b)

Şekil 3. (a) National Fire Protection Association **(**NFPA) sağlık yapılarında yatay tahliye şeması [NFPA,2018] (b) Yatay tahliye şeması (ChatGPT, 2026)

BYKHY Madde 32'nin 8. fıkrasında, zemin katta bulunan dükkân ve benzeri yerlerde kullanıcı sayısının 50'den az ve en uzak noktadan dış ortama açılan kapıya kadar olan kaçış uzaklığının 25 m'den kısa olması hâlinde, bina dışına açılan tek çıkışın yeterli kabul edileceği belirtilmektedir. BYKHYT'de tek çıkış uygulanabilecek ticari mekânların kapsamı genişletilerek zemin katla birlikte birinci katta veya birinci bodrum katta bulunan iki seviyeli düzenlemeler de hükme dâhil edilmiştir. İki seviyeli mekânlarda kullanıcıların tek bir kaçış yoluna bağımlı hâle gelmesi, yangın veya dumanın bu yolu kullanılamaz duruma getirmesi hâlinde, alternatif tahliye imkânını ortadan kaldırabilir. Bu nedenle söz konusu değişiklik, tahliye güvenliği açısından olumsuz olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, günümüzde yaygın olarak tasarlanan iki katlı ticari mekânların kullanım ve işleyişine yönelik mevcut proje çözümlerine esneklik sağlaması, mimari tasarım sürecinde karşılaşılan işlevsel gereksinimlere cevap vermesi ve ilave kaçış merdiveni zorunluluğunun oluşturabileceği planlama kısıtlarını azaltması bakımından olumlu olarak da değerlendirilebilir.

BYKHY Madde 33'ün üçüncü fıkrasında kaçış yolu koridor yüksekliğinin 210 cm'den BYKHYT'de 220 cm'ye çıkarılması ve maddenin devamındaki 5. fıkra b bendinde tek kanatlı çıkış kapısının temiz genişliğinin 80 cm'den 90 cm'ye yükseltilmesi, kaçış yollarında kullanıcı hareketliliğini ve sürekliliği artırmaya yönelik olumlu düzenlemeler olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde BYKHY Madde 47'nin 1. fıkrasında da kaçış yolu kapılarının temiz genişliğinin en az 80 cm olması gerektiği belirtilirken, BYKHYT'de bu değer 90 cm'ye çıkarılmıştır (Şekil 4). Bu değişiklikler, tahliye sırasında kullanıcıların kapılardan geçişini kolaylaştırması ve kaçış yolu kapasitesini artırması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.



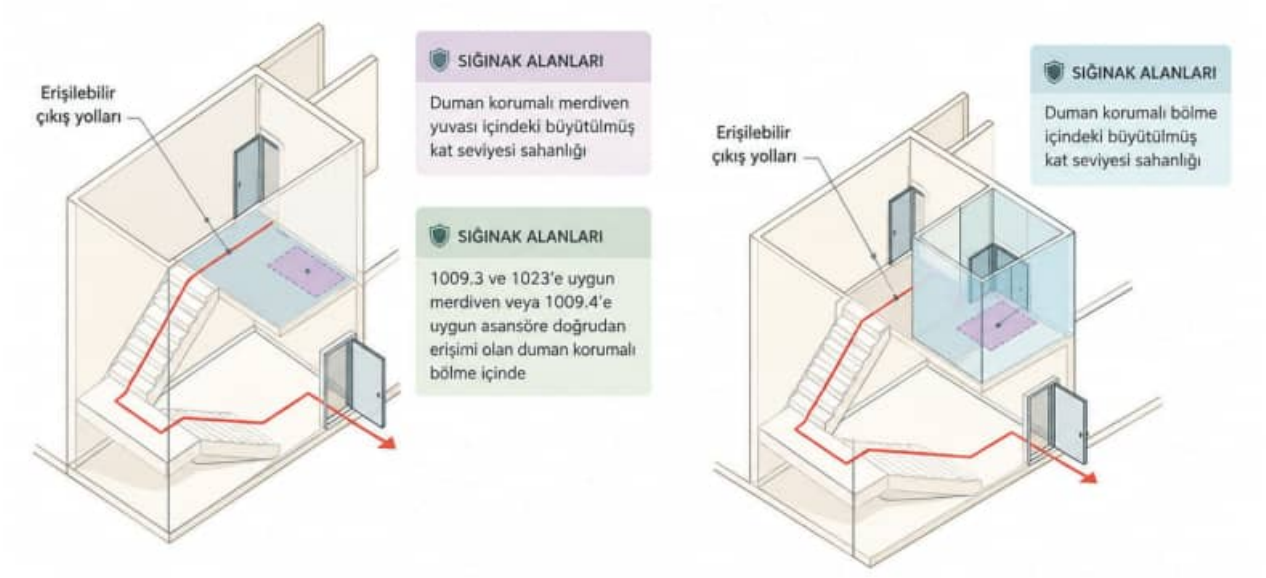
(a) (b)

Şekil 4. Kaçış kapılarında temiz genişlik (a) plan düzleminde tek kanatlı kapıda temiz genişlik (NFPA, 2018) (b) kapı görünüşünde minimum temiz genişlik ölçüleri (ChatGPT,2026)

Madde 35'te kaçış yollarına ilişkin düzenlemeler ele alınmaktadır. Mevcut yönetmelikte yalnızca birinci fıkra bulunurken, taslak metinde ikinci ve üçüncü fıkralar eklenmiştir. Maddenin birinci fıkrasında, güvenli alanlar dâhil olmak üzere kaçış yolları güzergâhında kaçışı engelleyebilecek veya yol genişliğini azaltabilecek herhangi bir malzeme bulundurulmaması gerektiği belirtilmektedir. Taslak metin ile eklenen ikinci fıkrada ise mevcut yönetmelikte yer almayan "tahliye bekleme noktası" kavramı tanımlanmıştır. Buna göre tahliye bekleme noktalarının, zemin kat hariç olmak üzere tüm katlarda yangın güvenlik holü, kaçış merdiveni, korunumlu hol veya koridor içerisinde ya da kompartıman içinde, kaçış yolunu daraltmayacak ve tahliye akışını engellemeyecek şekilde düzenlenmesi öngörülmektedir. Zemin katın doğrudan güvenli alana erişim sağlayan kat olması nedeniyle bu düzenlemenin üst katlar ve bodrum katlarda bulunan kullanıcıların tahliye süreçleriyle ilişkilendirildiği düşünülmektedir. Özellikle yangın sırasında asansörlerin kullanım dışı kalması durumunda hareket kabiliyeti kısıtlı bireylerin geçici olarak bekleyebileceği korunaklı alanların oluşturulmasının amaçlandığı söylenebilir. Maddeye eklenen üçüncü fıkrada ise tahliye bekleme noktalarının asgari ölçüleri tanımlanmıştır. Buna göre bu alanların, tekerlekli sandalye kullanıcılarının manevra yapabilmesine imkân verecek şekilde en az 90 cm × 140 cm boyutlarında düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Taslak metin ile tahliye bekleme noktalarının yönetmeliğe eklenmesi, özellikle erişilebilir tahliye yaklaşımının mevzuata dahil edilmesi bakımından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir. Bununla

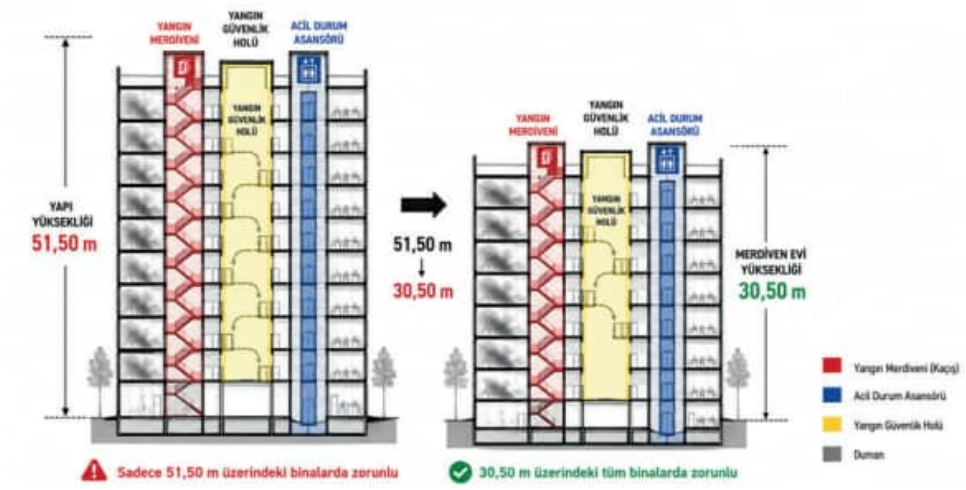
birlikte, düzenlemede tahliye bekleme noktalarının hangi yapı türlerinde zorunlu olduğu, kullanıcı kapasitesiyle ilişkisinin nasıl kurulacağı, engelli kullanıcılar için ayrılacak alanların kapsamı, yangın güvenlik holleri içerisinde bu alanların nasıl çözümleneceği ve mevcut hol alanlarını nasıl etkileyeceği gibi hususların açık biçimde tanımlanmadığı görülmektedir. Özellikle alanları sınırlı olan yangın güvenlik hollerinde tahliye bekleme noktalarının nasıl konumlandırılacağı ve bu alanların emsal hesabına etkisinin ne olacağı konularında uygulamada farklı yorumların ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle söz konusu düzenlemenin erişilebilir tahliye yaklaşımını desteklemesi bakımından olumlu olduğu, ancak uygulamaya yönelik açıklık ve kapsam açısından ek düzenlemelere ihtiyaç duyabileceği değerlendirilmektedir.

Tahliye bekleme noktası kavramı uluslararası düzenlemelerde yer alan “Area of Refuge” yaklaşımı ile benzerlik göstermektedir. British Standards (BS)’nin 1009.6.3 maddesinde her tahliye bekleme noktasında, her 200 kişi için en az bir adet 762 mm × 1219 mm boyutlarında tekerlekli sandalye alanı bulunması gerektiği belirtilmektedir. Kullanıcı yükünün 200 kişiyi aşması durumunda her ilave 200 kişi için ek bir alan öngörülmekte, ayrıca bu alanlara erişimin başka bir tekerlekli sandalye alanı üzerinden sağlanmaması gerektiği ifade edilmektedir (Şekil 5). Benzer şekilde NFPA 101’de sığınma alanı (Area of Refuge), tahliye sürecinin bir parçası olarak, kullanıcıların geçici süreyle güvenli biçimde bekleyebileceği ve nihai tahliye öncesinde koruma sağlayan bir alan olarak tanımlanmaktadır. Bu alanların başka bir bina ile bağlantılı köprü veya balkonlar, bölünmüş katların belirli bölümleri, asansör lobileri veya genişletilmiş merdiven sahanlıkları şeklinde düzenlenebileceği belirtilmektedir.



Şekil 5. BR ‘’Area of Refuge’’ Gereksinimleri (ChatGPT, 2026)

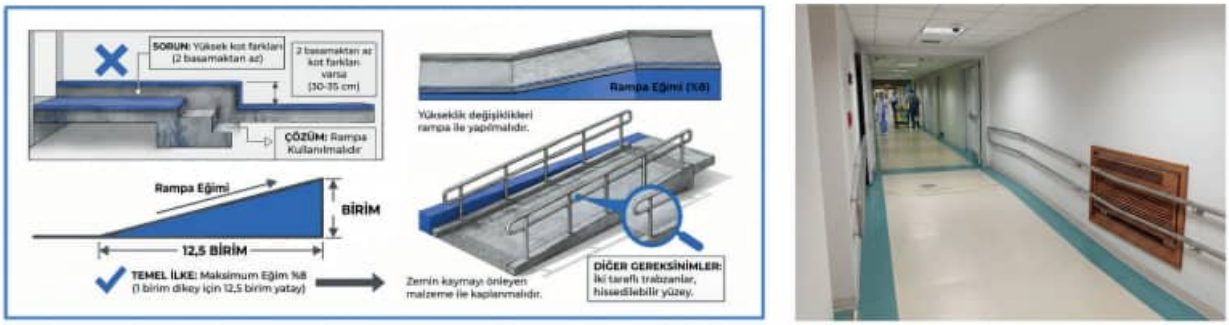
BYKHY Madde 34’te acil durum asansörü ve yangın güvenlik holüne ilişkin düzenlemeler yer almaktadır. Mevcut yönetmelikte, acil durum asansörü bulunan ve yapı yüksekliği 51,50 m’den fazla olan binalarda kaçış merdiveni önünde yangın güvenlik holü yapılması zorunlu tutulurken, BYKHYT’te bu yükseklik sınırı merdiven evi yüksekliği 30,50 m olacak şekilde düşürülmüştür (Şekil 6). Ayrıca acil durum asansörünün yangın merdiveni önündeki yangın güvenlik holüne açılması şartı korunmuştur. Acil durum asansörü aynı zamanda itfaiye asansörü olarak da kullanıldığı için erişim kolaylığı anlamında olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte yapılan değişiklik ile yangın güvenlik holü zorunluluğunun daha düşük yükseklikteki binaları da kapsayacak şekilde genişletildiği görülmektedir. Bu durumun, yangın sırasında kaçış merdivenlerinin ve acil durum asansörlerinin duman ve sıcak gazlardan korunmasına yönelik ek bir güvenlik önlemi sağlamayı amaçladığı söylenebilir. Buna bağlı olarak daha fazla sayıda yapıda yangın güvenlik holü oluşturulacak olması, kaçış güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayacağı için olumlu yönde bir düzenleme olarak değerlendirilmektedir.



(a) (b)

Şekil 6. Acil durum asansörü ve yangın güvenlik holü düzenlemelerinin mevcut yönetmelik ve taslak yönetmelik kapsamında karşılaştırılması (a) mevcut yönetmelik (b) taslak yönetmelik (ChatGPT, 2026)

Madde 36'da kaçış yolları üzerindeki kot farklarına ilişkin düzenlemeler yer almaktadır. Maddenin üçüncü fıkrasında, kaçış koridoru boyunca döşemede oluşan düşük seviyeli kot farklarının nasıl çözümleneceği tanımlanmaktadır. Mevcut yönetmelikte "kaçış koridoru boyunca döşemede yapılacak dört basamaktan az kot farkları, en çok %10 eğimli rampalarla bağlanır" hükmü yer alırken, taslak metinde bu ifade "kaçış koridoru boyunca döşemede yapılacak iki basamaktan az kot farkları, en çok %8 eğimli rampalarla bağlanır" şeklinde düzenlenmiştir (Şekil 7). Taslak metinde yapılan değişiklikle birlikte hem rampa kullanımını gerektiren kot farkı sınırı azaltılmış hem de izin verilen azami rampa eğimi düşürülmüştür. Maksimum eğimin %10'dan %8'e indirilmesi, özellikle hareket kabiliyeti kısıtlı bireylerin, yaşlıların ve tekerlekli sandalye kullanıcılarının kaçış güzergâhlarını daha güvenli ve rahat kullanabilmesine yönelik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, rampa kullanımının dört basamaktan az kot farkları yerine iki basamaktan az kot farkları için zorunlu hale getirilmesi, kaçış güzergâhlarında ani seviye değişimlerinden kaynaklanabilecek düşme ve takılma risklerini azaltmayı amaçlayan bir düzenleme olarak yorumlanabilir. Uluslararası düzenlemeler incelendiğinde, söz konusu değişikliğin erişilebilirlik ve tahliye güvenliği açısından yaygın kabul gören yaklaşımlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir. NFPA 101 Life Safety Code Handbook'ta, kullanıcıların belirgin yükseklik farklarını daha kolay algılayabildiği, buna karşılık sınırlı yükseklik değişimlerinin fark edilmesinin zorlaşabildiği belirtilmektedir. Bu bağlamda yaklaşık iki basamağa karşılık gelen düşük seviyeli kot farklarının kullanıcılar tarafından algılanmasının daha güç olabileceği ve bu durumun takılma veya düşme riskini artırabileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle düşük seviyeli kot farklarının rampalarla çözümlenmesi yaklaşımının tahliye güvenliğini desteklediği rahatlıkla söylenebilir.



(a) (b)

Şekil 7. (a) Düşük Kot Farkları ve Eğim Taslak Yönetmeliğe Göre (Gemini,2026) (b) Kaçış Yollarında Düşük Kot Farklarının İç Mekan Rampaları ile Bağlanması (NFPA,2018)

Türkiye'deki taslak düzenleme; BS, NFPA ve Singapur Yangın Yönetmeliği hükümleri ile karşılaştırıldığında benzer bir güvenlik yaklaşımı sergilemektedir. Yönetmeliklerin büyük bölümünde küçük ölçekli seviye değişimlerinin rampa ile çözülmesi gerektiği görülmektedir. Maksimum rampa eğimleri açısından değerlendirildiğinde ise taslak metindeki %8 sınırının NFPA ile benzerlik gösterdiği, BR'de yaklaşık %8,3'e, Singapur düzenlemelerinde ise %10'a kadar eğimlere izin verilebildiği görülmektedir. Ayrıca söz konusu yönetmeliklerde kaymaz yüzeyler, kontrast zemin kaplamaları, yeterli aydınlatma ve uygun sahanlık düzenlemeleri gibi ilave tasarım kriterleriyle tahliye güvenliğinin desteklendiği dikkat çekmektedir. Bu nedenle Madde 36'da yapılan değişikliklerin, kaçış güzergâhlarının erişilebilirliğini artırması, düşük seviyeli kot farklarından kaynaklanabilecek riskleri azaltması ve uluslararası erişilebilirlik yaklaşımlarıyla daha uyumlu bir çerçeve oluşturması bakımından olumlu olarak değerlendirilmektedir.

Madde 39'un ikinci fıkrasında, yürürlükte bulunan yönetmelikte yer almayan "gemici merdiveni" kavramı taslak metne eklenmiş ve belirli durumlarda alternatif çıkış yolu olarak kullanılabilmesine imkân tanınmıştır. Ancak taslak metinde gemici merdivenlerinin eğimi, yüksekliği, kullanım kapasitesi veya erişim koşullarına ilişkin herhangi bir teknik kriter tanımlanmamıştır. Gemici merdivenlerine ilişkin sayısal bir ölçüt yalnızca Madde 139'un 10. fıkrasında yer almakta olup, mevcut binalarda ve açık otoparklarda sistemlere erişim için temiz genişliği en az 80 cm olan merdiven veya gemici merdiveninin yeterli olduğu belirtilmektedir. Taslak düzenlemenin NFPA yaklaşımıyla benzerlik gösterdiği söylenebilir. NFPA'de gemici merdivenleri normal bir kaçış yolu olarak kabul edilmemekte; yalnızca çatı erişimi, teknik hacimler veya aynı anda en fazla üç kişinin bulunduğu özel alanlar gibi sınırlı kullanım senaryolarında izin verilmektedir. Ayrıca ANSI A14.3 standardına uygunluk, maksimum eğim ve basamak ölçüleri gibi teknik kriterler de tanımlanmaktadır. Bu nedenle gemici merdivenlerinin alternatif çıkış yolu olarak yönetmeliğe dahil edilmesi olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte kullanım koşulları ve teknik özelliklerine ilişkin kriterlerin açık şekilde tanımlanmamış olması, uygulamada farklı yorumlara neden olabilecek bir durum olarak değerlendirilmektedir.

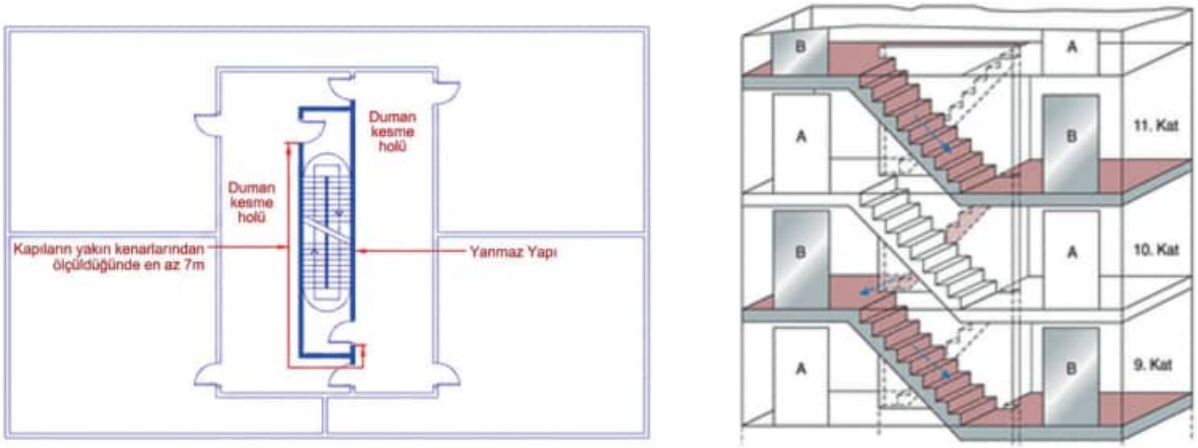


Şekil 8. Mevcut yönetmelik standart kaçış merdiveni düzeni ve taslak yönetmelik alternatif çıkış yolu olarak gemici merdiveni önerisi (ChatGPT, 2026).

Madde 41'in 2. fıkrasında BYKHYT'ye zaten uygulamada yer alan ilk cümle yeni eklenmiştir. Ancak bu cümlede doğrudan dışarıya açılmayan kaçış merdivenleri için korunumlu hol veya koridor oluşturulması esas alınırken, devamındaki cümlede belirli mesafe koşulları sağlandığında korunumlu hol veya koridor aranmaksızın çıkışa izin verilmektedir. Ayrıca Madde 41'in 3. fıkrasında, kaçış merdivenlerinde sahanlık düzenlenmesine ilişkin alt sınır 4 basamaktan 2 basamağa düşürülmüştür. Bu değişiklik, merdiven tasarımında daha kısa basamaklarla sahanlık oluşturulmasına imkân tanıdığı için kullanıcı güvenliği ve hareket konforu açısından olumlu olarak değerlendirilebilir. Aynı fıkrada yer alan "bina yüksekliği" ifadesi "merdiven evi yüksekliği" olarak da değiştirilmiştir.

Madde 41'in 6. fıkrasında kaçış merdivenlerinde baş kurtarma yüksekliği basamak üzerinden en az 210 cm olarak korunmuştur. Ancak Madde 33'ün 3. fıkrasında kaçış koridoru yüksekliğinin en az 220 cm olarak tanımlandığı dikkate alındığında, kaçış yolunun farklı bölümleri arasında ölçü standardı açısından bir farklılık oluşmaktadır. Kaçış merdivenleri de kaçış yolunun bir parçası olduğundan, bu iki hüküm arasındaki yükseklik farkı ölçü standardı açısından tutarsızlık oluşturabilir. Madde 41'in 8. fıkrasında, BYKHY'de yer alan "basamağın kova hattındaki en dar basamak genişliği" ifadesi taslak metinde "basamağın iç kenarındaki en dar genişliği" şeklinde düzenlenmiştir. Bu değişiklik, ölçünün hangi noktadan alınacağını daha anlaşılır hale getirmesi bakımından olumlu olarak değerlendirilmektedir.

BYKHYT'de Madde 41'e eklenen 10. fıkra ile makas merdivenlerin değerlendirilmesine ilişkin yeni bir düzenleme yapılmıştır. Bu fıkrada makas merdivenlerin esas olarak tek kaçış merdiveni kabul edileceği, ancak belirli koşulların birlikte sağlanması halinde iki ayrı kaçış merdiveni olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Merdiven evi yüksekliği, kullanıcı sayısı, merdivenleri ayıran duvarların yangına dayanımı ve kapılar arasındaki mesafe gibi kriterlerin açıkça tanımlanması, hem makas merdivenlerin kullanım koşullarını netleştirmesi hem de BYKHY'de makas merdivenlerin kaçış merdivenleri olarak kullanılabilmesi açısından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Makas merdivenlerin NFPA, BR., Singapur Yangın yönetmelikleri incelendiğinde; BYKHYT'ye eklenen makas merdivenlerin "scissor stairs / interlocking stairs" yaklaşımlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür. BYKHYT, makas merdivenleri öncelikle tek kaçış merdiveni olarak kabul etmesi bakımından NFPA ile ilişkilendirilebilir (NFPA,2018). Belirli koşullar sağlandığında iki ayrı kaçış merdiveni olarak kabul edilmesi ise özellikle 120 dakika yangına dayanıklı ayırıcı duvar ve kapılar arasında en az 7 m mesafe şartı bakımından Singapur yönetmeliğiyle benzerlik taşımaktadır (Singapur Yangın Yönetmeliği). Bu nedenle taslak metindeki makas merdiven düzenlemesinin NFPA ve Singapur yönetmelikleriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür (Şekil 9).



(a) (b)

Şekil 9. (a) Makas merdivenin planı (Singapur Yangın Yönetmeliği) ve (b) aksonometrik kesit görünüşü (NFPA, 2018)

BYKHYT'de Madde 42'nin 3. fıkrasında, BYKHY'de yer alan "Bina yüksekliği 21,50 m'den fazla olan binalarda, bina dışında açık merdivenlere izin verilmez" hükmü, "Binalarda dış kaçış merdiven evinin yüksekliği 21,50 m'den fazla olamaz" şeklinde değiştirilmiştir. Bu değişiklik, sınırlamanın daha açık ve doğrudan dış kaçış merdiveninin yüksekliği üzerinden tanımlanmasını sağlamıştır.

BYKHY'nin Madde 43'ünün 1. fıkrasında yer alan "yanmaz malzeme" ifadesi, BYKHYT'de "hiç yanmaz malzeme" olarak değiştirilmiştir. Ancak BYKHYT'deki yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları içerisinde (Ek-2/Ç ve Ek-2/D) "hiç yanmaz malzeme" şeklinde ayrı bir sınıflandırma bulunmadığından, bu ifade terminolojik açıdan belirsizlik oluşturmaktadır. Bu nedenle söz konusu değişiklik olumsuz olarak değerlendirilmiştir.

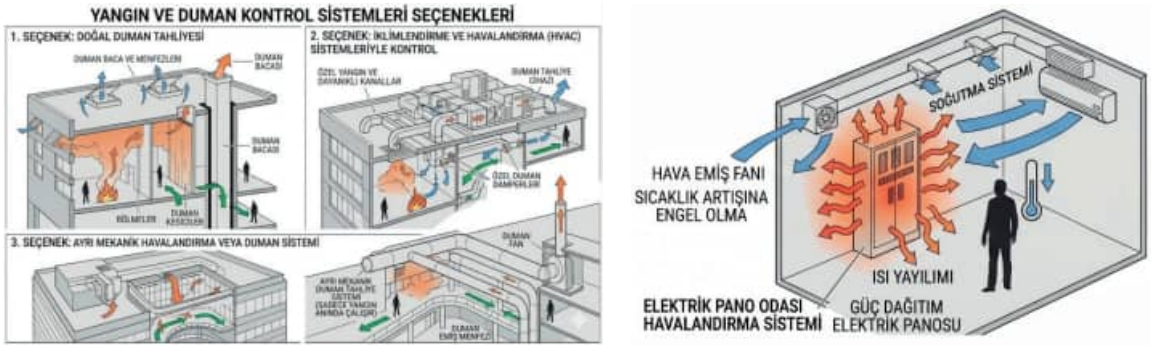
Bununla birlikte BYKHYT'de Madde 43'e 6. fıkra eklenerek yataklı sağlık yapıları, okul öncesi eğitim yapıları ve ilköğretim kurumlarında dairesel merdiven kullanımına izin verilmeyeceği belirtilmiştir. Bu düzenleme,

kullanıcı profili açısından tahliye güvenliği daha kritik olan yapılarda dairesel merdiven kullanımını sınırlandırması bakımından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir.

Madde 44'te kaçış rampalarının eğim sınırı BYKHY'de %10 iken, taslak yönetmelikte %8'e düşürülmüştür. Bu değişiklik, rampaların özellikle engelli bireyler tarafından daha güvenli ve bağımsız şekilde kullanılmasına katkı sağlaması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca mevcut yönetmelikte yer alan "korunumlu yuva" ifadesi taslak metinde "korunumlu ev" ifadesiyle değiştirilmiştir. BYKHY'de yer alan "korunumlu yuva" ifadesinin taslak metinde "korunumlu ev" olarak değiştirilmesi, teknik içerikten çok terminolojik bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir.

Madde 45'te, bütün korunmuş kaçış merdivenlerinin doğal veya mekanik yolla havalandırılması gerektiği belirtilmektedir. Bu kapsamda çalışmada, mevcut yönetmelikte yer alan Madde 85, 86, 87, 88 ve 89 ile bu maddelerin taslak yönetmelikteki karşılıkları olan Madde 86, 87, 88, 89 ve 90 incelenmiştir. Ayrıca taslak yönetmelikte yeni eklenen Madde 91'de çalışmaya dâhil edilmiştir. İnceleme sırasında mevcut yönetmelik ile taslak metin arasında madde numaralarında kayma olduğu görülmüştür. Bu kaymanın nedeni, taslak metne "Yapıya Entegre Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Sistemleri" başlıklı Madde 68'in eklenmesidir. Bu nedenle, BYKHY'de Madde 85 olarak yer alan düzenleme, BYKHYT'de Madde 86'ya karşılık gelmektedir.

Madde 86'da duman kontrolünün esaslarına ilişkin mevcut düzenlemede yer alan doğal duman tahliyesi, mekanik duman kontrol sistemleri ve iklimlendirme sistemlerinin özel düzenlemelerle kullanılması yaklaşımı taslak yönetmelikte korunmuştur (Şekil 10a). BYKHYT'de farklı olarak, yapıdaki güç dağıtım elektrik panolarının bulunduğu mahallerde sıcaklık artışını önleyecek şekilde havalandırma veya soğutma sistemi tesis edilmesine ilişkin (Şekil 10b) Madde 86'ya 3. fıkra yeni eklenmiştir. Bu fıkranın eklenmesi, elektrik panolarında aşırı ısınmaya bağlı ekipman arızası, kısa devre ve yangın risklerini azaltmaya yönelik önleyici bir güvenlik tedbiri olması bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.



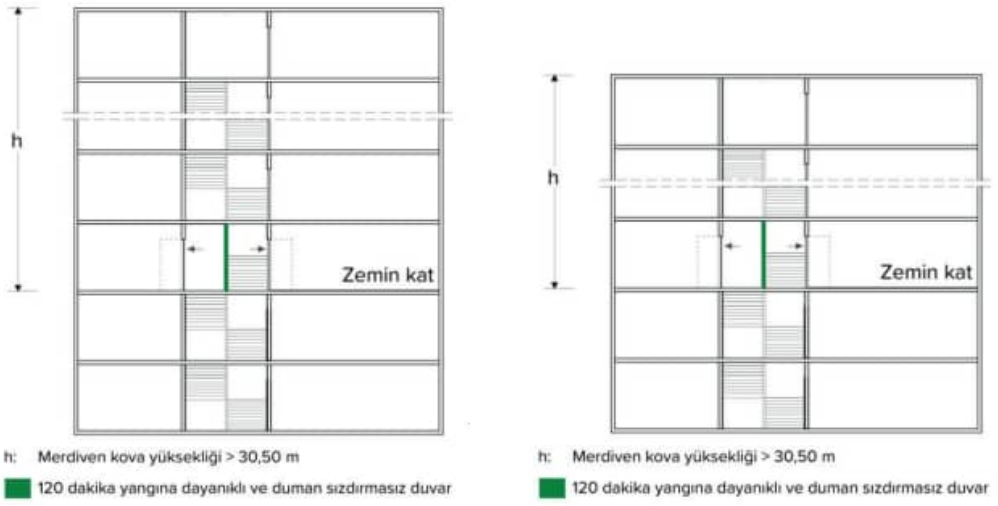
(a) (b)

Şekil 10. (a) Yangın ve duman kontrol sistemleri (b) soğutma sisteminin eklenmesi (ChatGPT, 2026)

BYKHYT'de, mevcut yönetmelikte Madde 88'in 3. fıkrasında yer alan "kapalı otopark alanları" ifadesi bu maddeden çıkarılarak Madde 60'ta otoparklara ilişkin özel düzenlemelerin yer aldığı 10. fıkraya taşınmıştır. Bu değişiklikle kapalı otoparklarda mekanik duman tahliye sistemi gerekliliği daha açık, ölçülebilir ve teknik kriterlere bağlı bir şekilde tanımlanmıştır. BYKHYT'de yalnızca toplam alanı 2000 m²'yi aşan kapalı otoparklarda mekanik duman tahliye sistemi yapılması gerektiği belirtilirken, BYKHYT'de bu sistemin binanın diğer bölümlerine hizmet veren sistemlerden bağımsız olması ve taban alanının her m²'si için 300 L/dak debi sağlaması gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca elektrikli araç şarj sistemleri bulunan otopark bölümleri için bu değerin 500 L/dak olarak belirlenmesi, güncel kullanım ihtiyaçları ve yangın güvenliği riskleri açısından olumlu bir düzenleme olarak görülmüştür.

BYKHY'de Madde 89'un 1. fıkrasında basınçlandırma zorunluluğu, konutlar hariç olmak üzere bütün binalarda merdiven kovası yüksekliğinin 30.50 m'den fazla olması durumunda uygulanırken; BYKHYT'de bu kapsam genişletilerek bütün binalar dâhil edilmiş ve sınır değer merdiven evi yüksekliği 21.50 m olarak

değiştirilmiştir. Başka bir değişle; "bodrum kata ve üst katlara hizmet veren kaçış merdiveninin aynı yuvada olsa bile; zemin kat seviyesinde, yangına 120 dakika dayanıklı ve duman sızdırmaz bir duvar ile ayrılmış ve ayrı çıkış düzenlenmişse, merdiven yuvası yüksekliği için üst katların yüksekliği esas alınır" (Şekil 11). Bu değişiklikle hem konut yapıları basınçlandırma şartı kapsamına alınmış hem de yükseklik sınırının düşürülmesiyle daha fazla sayıda binada kaçış merdivenlerinin basınçlandırılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu durum, yangın anında kaçış merdivenlerine duman girişinin önlenmesi ve güvenli tahliye koşullarının artırılması bakımından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca BYKHYT'de, basınçlandırma sistemi tasarımı, kurulumu, test ve bakımının ilgili standartlara göre yapılması gerektiğine ilişkin yeni bir fıkra eklenerek basınçlandırma sisteminin teknik detayları yönetmelikten kaldırılarak daha sadeleştirilmiştir.



Şekil 11. Basınçlandırma zorunluluğunda yükseklik sınırı değişikliği (Binların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik Kılavuzu (BYKHYK), 2024)

BYKHY'de Madde 89'da yüksekliği 25 m'den fazla olan kapalı merdivenlerin basınçlandırılmasında birden fazla noktadan üfleme yapılması gerektiği belirtilirken; BYKHYT'de bu sınır "merdiven evi yüksekliği 21,50 m ve fazla olan kapalı merdivenler" şeklinde yeniden düzenlenmiştir. Bu değişiklikle merdiven yüksekliği sınırı düşürülmüştür.

Bununla birlikte BYKHY'de Madde 89'da basınçlandırma yapılmayan kaçış merdivenlerinde açılabilir pencere veya tepe penceresi bulunması gerektiği belirtilirken; BYKHYT'de bu hüküme otomatik ve elle açılabilir damper veya pencere şartı eklenmiştir. Ayrıca doğal duman tahliyesi için bırakılacak açıklığın net alanının, merdiven evi taban alanının en az 0.025 katı kadar olması gerektiği belirtilmiştir (Şekil 12). Örneğin merdiven evi taban alanı 30 m² ise pencere açıklığı en az 0,75 m² olmalıdır. Bu değişiklik, pencere/damper açıklığına ölçülebilir bir kriter getirmesi bakımından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

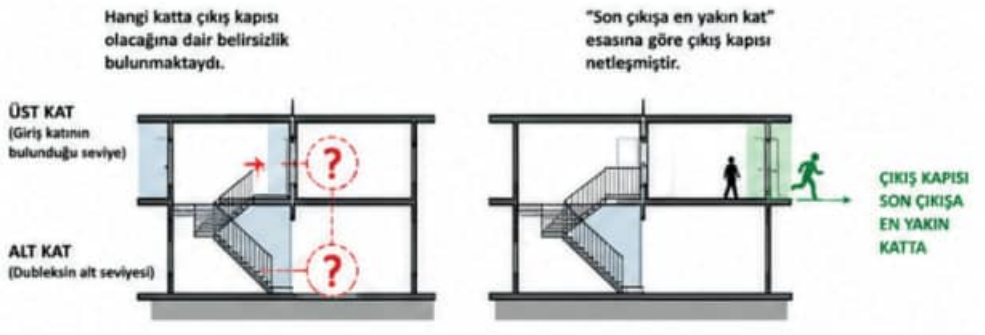


(a) (b)

Şekil 12. Merdiven evine (a) direk açıklık oluştuğunda (b) direk açıklık oluşturmadığında (ChatGPT, 2026)

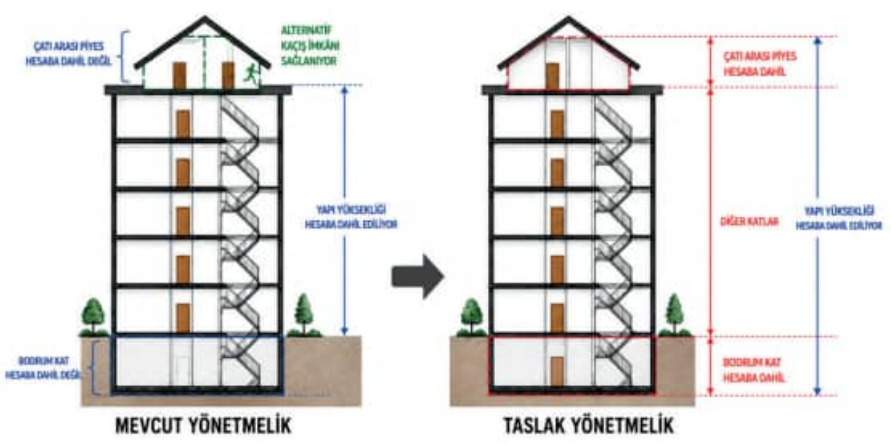
BYKHYT'de, duman kontrol sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımına ilişkin Madde 91, yeni eklenmiştir. Bu düzenleme ile duman kontrol sistemlerinin yalnızca kurulması değil, kullanım süreci boyunca ilgili standartlara uygun şekilde kontrol edilmesi ve bakım raporlarının saklanması da hüküm altına alınmıştır. Bu yönüyle madde, sistemlerin sürekliliği ve işlerliğinin izlenmesi açısından olumlu bir düzenleme olarak değerlendirilebilir.

BYKHY madde 48'in 2. fıkrasında konutlarda kaçış mesafeleri ile dubleks veya tripleks gibi dairelerde çıkış kapısının konumu ve üst kat alanına ilişkin şartlar belirtilmektedir. BYKHYT'de yapılan değişiklikler ile "ikiden çok ara kat bulunmayan apartman daireleri" ifadesi yerine "içten bağlantılı olan iki katlı bağımsız bölümler" ifadesi şeklinde değiştirilmiştir. Böylece mimari çözümlerden kaynaklanan yorum farklılıklarının önüne geçilmesi ve düzenlemenin kapsamının netleştirilmesi açısından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilebilir. Yine 2. fıkrada son çıkışın konumuna ilişkin değişiklikte ''bu kapı üst katta düzenlenemez'' ifadesi yerine "bu kapı son çıkışa en yakın katta bulunur" ifadesinin kullanımı hem çatı dublekslerinde hem de giriş katının üst seviyede bulunduğu ters dublekslerde çıkış kapısının bulunması gereken kat açık biçimde tanımlanmıştır (Şekil 13). Ayrıca BYKHY'de döşeme alanında üst katın alanı esas alınırken, BYKHYT'da çıkış kapısının bulunmadığı katın alanı dikkate alınması uygulamada oluşabilecek karışıklıkları önlemek açısından da olumlu bir değişik olarak değerlendirilmiştir.



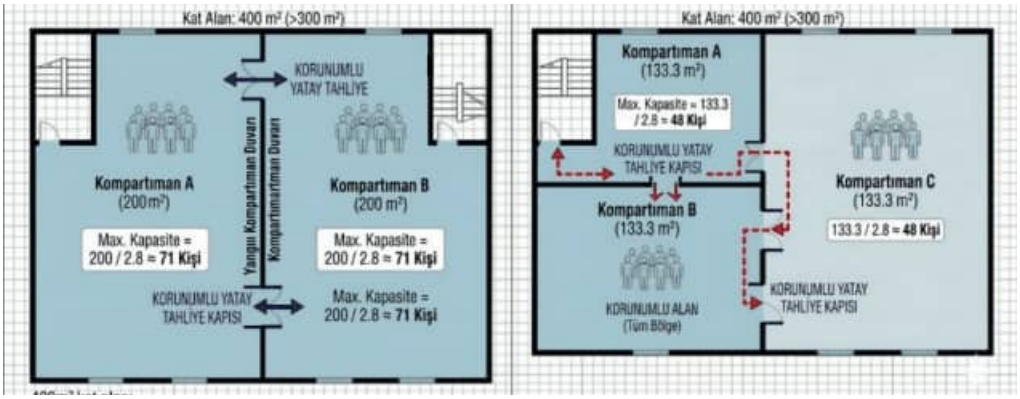
Şekil 13. Ters dublekste çıkış kapısı (ChatGPT, 2026)

BYKHYT madde 48'in 5. fıkrada bina yüksekliklerine ilişkin sınır değerlerin netleştirilmesi olumlu bir düzenleme olarak değerlendirilmiştir. Tam sınır değerinde bulunan binaların hangi kategori içerisinde değerlendirileceğine ilişkin hukuki ve teknik belirsizliklerin giderilmesi, uygulamada ortaya çıkabilecek yorum farklılıklarını azaltmaktadır. Maddenin devamında BYKHY 5. fıkra c bendinde kaçış merdivenine ilişkin yapılan düzenlemede "korunumlu" ifadesi yerine "kaçış merdiveni özelliklerine uygun" ifadesi merdivenin hem yangına karşı korunumlu hem de Madde 41'de belirtilen tüm fiziksel standartlara da uygun olması gerektiği vurgulamaktadır. Bununla birlikte aynı bentte "veya basınçlandırma uygulanmış" ifadesinin metinden çıkarılmasıyla yangın güvenlik holü zorunlu hale getirilmiştir. Taslak yönetmeliğin 90. maddesinde basınçlandırma zorunluluğu sınırının bütün binalar için merdiven evinin yüksekliği baz alınarak 21,50 m'ye düşürülmüş olması dikkate alındığında, bu değişiklik kaçış yollarının duman etkisinden korunmasını güçlendirerek tahliye güvenliğini artırmaktadır. Diğer taraftan, BYKHY'de yer alan ve her daireye özel yangın güvenlik holü yapılması durumunda binanın genel merdiveninin korunumlu olmasının gerekli olmadığı ifadesinin kaldırılması da olumlu olarak değerlendirilmiştir. Maddenin devamında yapılan diğer önemli bir değişiklik de BYKHYT'de 7 ve 8. fıkraların kaldırılmasıyla birlikte, konutların kaçış merdiveni özelliklerini belirleyen "yapı yüksekliği" hesabına bodrum katlar ve çatı piyesleri hiçbir istisna olmaksızın dâhil edilmiştir (Şekil 14). Bu durum bina yüksekliğinin artmasına bağlı olarak yangın güvenliğini de arttırmaktadır.



Şekil 14. 7 ve 8. fıkraların kaldırılmasının yapı yüksekliğindeki değişime etkisi (ChatGPT, 2026)

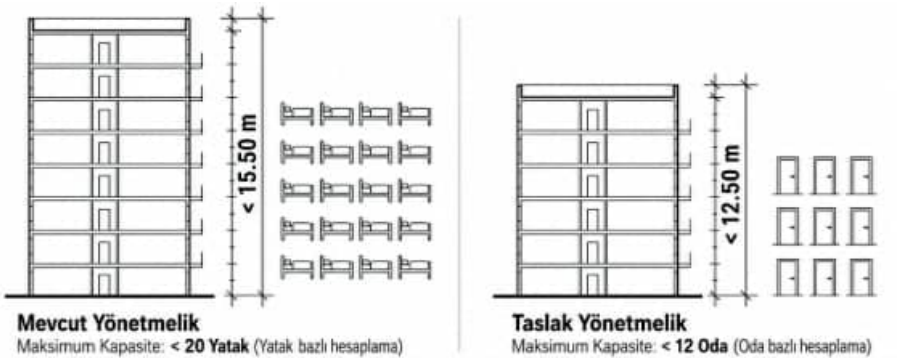
BYKHY sağlık yapıları ile ilgili madde 49 kapsamında yapılan değişiklikte hastane, bakımevi gibi binaları ayrı ayrı belirtmek yerine "yataklı sağlık yapıları" ifadesinin kullanılması tanımlar bölümünde (Madde 11/b-1) bu kavramın BYKHY'de belirtilen yapıları zaten kapsadığının belirtilmiş olması açısından olumlu bir düzenleme olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra 1. fıkra 2 bendinde sağlık yapılarındaki yangın kompartımanlarına ilişkin yapılan "en az yarısı büyüklüğünde" ifadesinin kaldırılması ile bir katın ikiden fazla yangın kompartımanına ayrıldığı yapılarda, kompartıman büyüklüklerinin nasıl değerlendirileceğine ilişkin olası karışıklıkları ortadan kaldırdığı için olumlu bir değişiklik olarak görülmüştür (Şekil 15).



(a) (b)

Şekil 15. (a) BYKHY ve (b) BYKHYT'de yangın kompartmanı ve yatay tahliye (Gemini AI, 2026)

BYKHY konaklama amaçlı binalar ile ilgili madde 50 kapsamında ''oteller, moteller ve yatakhaneler'' ifadesi yerine BYKHYT'de "konaklama amaçlı binalar" ifadesinin kullanılması, yönetmeliğin tanımlar bölümü ile uyumlu bir terminoloji oluşturması bakımından olumlu olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, BYKHY'de 1. fıkrada konaklama amaçlı binaların tek çıkış şartında yatak sayısı dikkate alınırken BYKHYT'de oda sayısının esas alınması (Şekil 16), bir odada aşırı yatak yoğunlaşmasına izin verebileceğinden, yangın güvenliği açısından risk oluşturabilir. Oda ile yatak sayısının birlikte değerlendirilmesi ya da BR'de olduğu gibi kullanıcı yükünü esas alan bir yaklaşımın benimsenmesi daha uygun olabilir. Konaklama amaçlı binaların tek çıkış şartında yükseklik sınırının 15.50 m'den 12.50 m'ye düşürülmesi daha alçak yapılarda dahi ikinci bir çıkış zorunluluğunun getirilmesini sağlaması ile olumlu bir düzenleme olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, tek çıkışlı binalarda BYKHY'de ''korunumlu veya basınçlandırılmış'' ifadesi yerine BYKHYT'de ''korunumlu ve basınçlandırılmış'' ifadesinin kullanımı ile merdivenlerde korunumu ve basınçlandırmayı aynı anda zorunlu hale getirerek kullanıcıların duman ve sıcak gazlardan etkilenmeden güvenli şekilde tahliye edilmesine katkı sağlayan olumlu bir gelişme olarak görülmüştür.



(a) (b)

.**Şekil 16.** (a) BYKHY ve (b) BYKHYT'de tek çıkış için gerekli şartlar (NotebookLM, 2026)

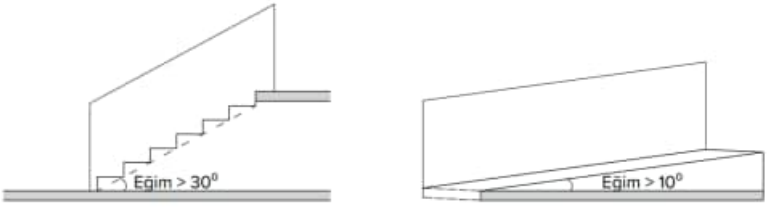
2. fıkra a bendinde havalandırma boşluğunun yükseklik ölçüm kriterinde yapılan değişiklikle, BYKHY'de esas alınan parapet ile döşeme üst kotu arasındaki mesafe yerine boşluğun döşemeden itibaren yüksekliği esas alınmıştır. Açılan boşluklarda her zaman parapet bulunmayabileceğinden, bu değişiklik ölçüm yöntemini daha açık ve uygulanabilir hâle getirerek olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca havalandırma boşluğu yüksekliğinin 1.1 m'den 1.8 m'ye çıkarılması, yangın sırasında misafirlerin tahliyesi açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmiştir (Şekil 17). 6. fıkra a bendinde doğal veya mekanik yolla havalandırılmayan iç koridorlara yapılması gereken duman kesiciler ile ilgili "60 dakika yangın dayanımı" şartının kaldırılmış, yerine "yanıcı olmayan malzemeden" ifadesi kullanılmıştır. Böylece duman kesicilerin, yangının ısıl etkilerine karşı direnci belirsizleşmiştir; dolayısıyla bu durum güvenlik seviyesinde bir azalma riski oluşturarak olumsuz bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; Singapur ve İngiliz yönetmeliğinde olduğu gibi yanmazlık şartının mutlaka bir zaman performansı ile desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir.



(a) (b)

Şekil 17. (a) BYKHY ve (b) BYKHYT'de havalandırma boşluğu ile ilgili düzenlemeler (ChatGPT, 2026)

Toplanma amaçlı binalar ile ilgili madde 51 1. fıkra c ve ç bentlerinde geçen ara dolaşım alanlarında basamak yapılmasına izin verilen eğim sınırının %10'dan %8'e düşürülmesi ve korkuluk yapılmasını gerektiren rampa eğimi sınırının %10'dan %8'e düşürülmesi (Şekil 18), yönetmeliğin tekerlekli sandalye kullanıcıları ve hareket kısıtlılığı olan bireyler için uluslararası erişilebilirlik standartlarına uyumu artırması açısından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilebilir. 1. fıkra e bendinde acil durum aydınlatmasının sistemin gerekliliklerine uygun olması gerektiği belirtilerek yorum farklılıklarını azaltıp, uygulamada birlik sağlaması açısından olumlu bir değişiklik olarak değerlendirilmiştir. BYKHYT'ye f bendi eklenmiş ve salon içinde ara dolaşım alanlarındaki basamakların genişlik ve yüksekliğinin kaçış merdiveni özelliğinde olması gerektiği belirtilerek, tahliye sırasında kullanıcıların alışık oldukları hareket düzenini koruyarak takılma ve düşme risklerini azalttığı için olumlu olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 18. BYKHY'de ara dolaşım alanlarında korkuluk yapılması gerektiği durumlar (BYKHYK, 2024)

BYKHY'de madde 52'nin başlığında yapılan değişiklik ile "mağaza" veya "dükkân" yerine BYKHYT'de ''ticari amaçlı kullanılan bölümler'' ifadesi kullanılmıştır. BYKHYT'de eklenen 2. Fıkra ile bu yönetmelik hükümlerinin uygulanamadığının tespit edildiği durumlarda, tesisin özelliğine uygun uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlara göre yangın güvenlik önlemlerinin alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu ekleme ile Türkiye'deki yangın mevzuatını küresel mühendislik standartlarıyla uyumlu hale getiren olumlu bir adım olarak değerlendirilebilir. Ancak yönetmeliğin hangi teknik sebeple "uygulanamaz" sayılacağına dair nesnel bir kriterin olmaması ve bu kararın idarenin kişisel yorumuna açık kalması olumsuz bir durum olarak değerlendirilebilir. NFPA, bir kuralın uygulanamaz sayılması için "Teknik Olarak Uygulanamaz" (Technically Infeasible) kavramını kullanır ve bunu ana taşıyıcı iskeletin değiştirilmesini gerektiren yapısal engeller veya aşılamayan saha kısıtlarıyla sınırlandırır. Yönetmeliğin uygulanamadığı her durumda, yerine geçecek uluslararası standardın en az mevcut yönetmelik kadar güvenli olduğunun profesyonel kişiler tarafından mühendislik raporlarına ve teknik dokümantasyon süreci ile tespit edilmesi gerektiğini belirtir. Bu nedenle söz konusu düzenleme genel yaklaşım itibarıyla olumlu olmakla birlikte daha ayrıntılı şekilde tanımlanması gerektiği düşünülmektedir.

3. MADDELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 1'de, BYKHY ve BYKHYT'nin üçüncü kısmında yer alan maddelerde yapılan değişiklikler değerlendirilmiştir. İnceleme kapsamında her bir madde ve fıkra, değişiklik yapılıp yapılmadığı ve yapılan değişikliğin yangın güvenliği üzerindeki etkisi açısından analiz edilmiştir. Değişiklik içermeyen hükümler "Değişiklik Yapılmamıştır" sütununda; yeni düzenleme, kaldırma veya metin değişikliği içeren hükümler ise "Değişiklik Yapılmıştır" sütununda gösterilmiştir. Değişiklik yapılan hükümler ayrıca yangın güvenliği, tahliye güvenliği, uygulama kolaylığı ve hükümlerin açıklığı üzerindeki etkilerine göre olumlu, olumsuz veya nötr olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. İncelenen Maddelere İlişkin Değerlendirme

Madde Numarası	Değişiklik yapılmıştır	Değişiklik Yapılmamıştır	Olumlu Değişiklik	Olumsuz Değişiklik	Nötr Değişiklik
Madde 30 Fıkra 1,2,3,4,5					
Madde 31 Fıkra 1,7					
Madde 31 Fıkra 2,3,4,5,6					
Madde 32 Fıkra 1,3,4,7					
Madde 32 Fıkra 2,6					
Madde 32 Fıkra 8					
Madde 33 Fıkra 1,2,3,5					
Madde 33 Fıkra 6					
Madde 34 Fıkra 1,2,3,4,5,6,8					
Madde 34 Fıkra 7					
Madde 35					
Madde 36 Fıkra 1,3					

Madde 36 Fıkra 2					
Madde 37 Fıkra 1,3,4,5 + 2.					
Madde 38 Fıkra 1,2,3,4					
Madde 39 Fıkra 1,3,4,5 + 2.					
Madde 40 Fıkra 1,2					
Madde 41 Fıkra 1,4,5,7,9					
Madde 41 Fıkra 2,3,8 +10					
Madde 41 Fıkra 6					
Madde 42 Fıkra 1					
Madde 42 Fıkra 2,3					
Madde 43 Fıkra 1					
Madde 43 Fıkra 2,3,4,5 + 6.					
Madde 44 Fıkra 1					
Madde 44 Fıkra 2					
Madde 45 Fıkra 1					
Madde 85 Fıkra 1,2,3,4,5					
Madde 86 Fıkra 1,2 + 3.Fıkra					
Madde 87 Fıkra 1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10					
Madde 87 Fıkra 11					
Madde 87 Fıkra 12					
Madde 88 Fıkra 1,2,4,5					
Madde 88 Fıkra 3					
Madde 89 Fıkra 1,2,3,4					
Madde 89 Fıkra 5,6,7,8,9,10,11,12					
Madde 89 Fıkra 13,14,16					
Madde 89 Fıkra 15 + Taslak Metin Madde 90 Fıkra 8					
Taslak Metin Madde 91					
Madde 46 Fıkra 1,2					
Madde 47 Fıkra 1,3,4,6					
Madde 47 Fıkra 2,5					
Madde 48 Fıkra 1,3,4,6					
Madde 48 Fıkra 2,5 – 7,8.					
Madde 49 Fıkra 1 – 2.					
Madde 50 Fıkra 1,+2.					
Madde 50 Fıkra 2 (BYKHYT'de tekrar eden 2. Fıkra)					
Madde 50 Fıkra 3,4,5					
Madde 50 Fıkra 6					
Madde 51 Fıkra 1					
Madde 51 Fıkra 2					
Madde 52 Fıkra 1					
Madde 52 Fıkra +2.					

+: BYKHY'de eklenen fıkralar -: BYKHY'de kaldırılan fıkralar

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in (BYKHY) 3. Kısmında yer alan 30–52. maddeler ile bu maddelerin Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Taslağı (BYKHYT) metnindeki karşılıkları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve yapılan değişikliklerin yangın güvenliği açısından etkileri değerlendirilmiştir.

İnceleme sonucunda, taslak yönetmelikte yer alan değişikliklerin büyük bölümünün kaçış yollarının kapasitesini artırmaya, tahliye güvenliğini geliştirmeye, erişilebilirlik koşullarını iyileştirmeye ve uygulamada karşılaşılan belirsizlikleri azaltmaya yönelik olduğu görülmüştür.

Taslak metinde ilk kez yer verilen tahliye bekleme noktaları, gemici merdivenleri, makas merdivenlere ilişkin düzenlemeler yönetmeliğin güncel ihtiyaçlara cevap verme kapasitesini artıran düzenlemeler olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bazı maddelerde terminolojik belirsizliklerin devam ettiği, bazı hükümlerin ise uygulama açısından farklı yorumlara açık olduğunun söylenmesi gerekir.

Çalışma kapsamında yapılan karşılaştırmalar, taslak yönetmeliğin genel olarak uluslararası yangın güvenliği yaklaşımlarıyla daha uyumlu hale getirilmeye çalışıldığını göstermektedir. Özellikle NFPA, BR ve Singapur Yangın yönetmeliklerinde yer alan kaçış yolu gereklilikleri ve ölçüleri ile ilgili uygulamaların taslak metne yansıtıldığı görülmüştür. Ancak bu düzenlemelerin uygulamadaki etkilerinin daha ayrıntılı analiz edilmesi ve gerekli görülen konularda teknik kriterlerin netleştirilmesi önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, taslak yönetmelikte yapılan değişikliklerin büyük çoğunluğunun yangın güvenliği ve tahliye performansını artırıcı nitelikte olduğu değerlendirilmekle birlikte, uygulamada tereddüt oluşturabilecek bazı hükümlerin yeniden gözden geçirilmesi ve uluslararası standartlarla uyumlu teknik açıklamalarla desteklenmesi önerilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, yönetmeliğin bu çalışma kapsamında incelenmeyen diğer bölümlerinin de değerlendirilmesiyle yeni yönetmeliğin bütüncül olarak analiz edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

3. KAYNAKLAR

[1] Demirel, F., Tavman, G., Yaman, M., “Gazi Üniversitesi Yeni Mimarlık Fakülte Binasının ‘Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’ Bağlamında İncelenmesi”, Uluslararası Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi (TÜYAK), İstanbul, s. 311–321, 2017.
[2] Anadolu Ajansı, “Bolu’da 78 Kişinin Hayatını Kaybettiği Otel Yangını Faciasının Üzerinden 1 Yıl Geçti”, https://www.aa.com.tr/tr/gundem/boluda-78-kisinin-hayatini-kaybettigi-otel-yangini-faciasinin-uzerinden-1-yil-gecti/3804810, Erişim Tarihi: 17.06.2026.
[3] Ching, F. D. K., Winkel, S. R., “Building Codes Illustrated: A Guide to Understanding the 2021 International Building Code”, 7. Baskı, Wiley, 2021.
[4] Singapore Civil Defence Force, “Code of Practice for Fire Precautions in Buildings 2023”, Singapore Civil Defence Force, 2023.
[5] “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”, 2007.
[6] “Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Taslak Yönetmelik”
[7] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu”, 2024, Erişim Tarihi: 04.04.2026.
[8] OpenAI, “ChatGPT [Large Language Model]”, https://chat.openai.com/, 2026.
[9] Google, “Gemini [Large Language Model]”, https://gemini.google.com/app, 2026.
[10] Google, “NotebookLM [Large Language Model]”, https://notebooklm.google/, 2026.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Füsun DEMİREL
ADMMA, Mimarlık Bölümü'nden "Kızılay karşılıksız bursu" ile "lisans", ODTÜ, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nden "Yüksek Onur Derecesi" ile "yüksek lisans", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nden "1995 Yılı Bilimsel Çalışma Ödülü" ile "doktora" derecelerini almıştır. Akademik hayatına, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde, "araştırma görevlisi" olarak başlamış, 1996 yılında "öğretim görevlisi", 1998 yılında "yardımcı doçent", 2000 yılında "doçent", 2006 yılında "profesör" unvanlarını almıştır. İlgi alanları; "Binalarda Yangından Korunum" ve "Mimari Akustiktir. Bu alanlarda çok sayıda bilimsel çalışması bulunmakta, Türkçe/İngilizce dersler vermekte, yüksek lisans, doktora tezlerine danışmanlık yapmakta, çok sayıda proje ve danışmanlık yürütmektedir. Prof. Dr. Demirel, 2003 – 2005 yılları arasında şimdiki adıyla, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nda "Binalarda, Yangın Güvenliği" alanında "Danışman" olarak görev almış ve bu süreçte "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 2007 ve 2009 versiyonlarının çıkarılmasında aktif rol oynamış ve yazarlığını yapmıştır. Ayrıca, Bilkent ve Mersin Şehir Hastanelerinin üçüncü taraf yangın danışmanlığını, T.B.M.M. Milletvekilleri odaları, Genelkurmay Konferans Salonu, Etlik Şehir Hastanesi ve Cumhurbaşkanlığı Külliyesinin bazı bina ve salonlarının akustik danışmanlığını da yapmıştır. Prof. Dr. Füsun Demirel, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi bünyesinde 2026 yılında emekli olarak, tam zamanlı öğretim üyesi statüsünden yarı zamanlı öğretim üyesi statüsüne geçerek, hâlen "Yangından Korunum" ve "Akustik" alanlarında ders vermeye devam etmektedir. 2026 yılında kurmuş olduğu "Prof. Dr. Füsun Demirel Yangın & Akustik Danışmanlık ve Eğitim" firmasıyla 30 yılı aşkın akademik ve saha deneyimini iş tecrübesine dönüştürmektedir.

Zuhal ÖZÇETİN
Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans eğitimini (2006), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisans (2011) ve aynı bölümde doktora (2016) eğitimini tamamladı. 2009 yılında Bozok Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak başlayan akademik hayatı, Siirt Üniversitesi Mimarlık Bölümü kurucu üyesi olarak (2017-2020) devam etti. 2020 yılı itibariyle Uşak Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Akustik, Gürültü Kontrolü, Yapı Bilgisi, Yapı Fiziği, Mimarlık, Malzeme, Erişilebilirlik konularında çeşitli çalışmaları ve yayınları bulunmaktadır.

Merve GÖRKEM
2007 Yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Aynı bölümde 2012 yılında yüksek lisans, 2024 yılında ise doktora programını tamamlamıştır. 2007-2012 yılları arasında PROFEM Mimarlık ofisinde çeşitli projelerde görev aldı. 2023-2024 yılları arasında Ostim Teknik Üniversitesi-İç Mimarlık Bölümünde yarı zamanlı doktor öğretim üyesi olarak Akustik dersi vermiştir. 2024 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümünde Fiziksel Çevre Denetimi dersi kapsamında Akustik ve Yangın alanında ders vermektedir. Yarı zamanlı öğretim üyesi olarak ve çeşitli yurtiçi/yurt dışı akademik yayınlar ile akademik çalışmalarına devam etmektedir. 2016 yılında kurmuş olduğu MeGo Danışmanlık ve Mimarlık şirketi ile Akustik ve Yangın alanındaki akademik birikimini iş tecrübesine dönüştürmektedir.

Ayşe Mehlika TOP
2022 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2025 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak, 2026 yılında aynı üniversitede doktora eğitimine başladı. 2022-2024 yılları arasında ALKA Mimarlık ofisinde çeşitli kamu projelerinde görev aldı. Ocak 2026'dan itibaren Gazi Üniversitesi ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mimarlık Bölümünde yarı zamanlı öğretim elemanı olarak görev yapmakta olup, çeşitli yurt içi ve yurt dışı akademik yayınlar ile akademik çalışmalarına devam etmektedir.

Berfin DOĞAN
Lisans eğitimini 2025 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde fakülte ve bölüm birincisi olarak tamamlamıştır. 2026 yılı itibarıyla aynı üniversitenin Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda tezli yüksek lisans çalışmalarına başlamıştır. Akademik çalışmaların yanı sıra bir mimarlık ofisinde çalışma hayatını sürdürmektedir.

Haticetülkübra ÖÇSOY
Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümündeki lisans eğitimini 2025 yılında tamamlamıştır. 2026 yılında aynı üniversitenin Mimarlık Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programına başlamıştır. Mimarlık alanındaki akademik çalışmalarını sürdürürken, yarı zamanlı olarak bir mimarlık ofisinde mesleki çalışmalarına devam etmektedir.

Esranur ERGÜL
2024 yılında Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2025 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisans çalışmalarına devam etmektedir.

BİNA İÇİ KULLANICI YÜKÜ VE ÇIKIŞ YOLU GEREKSİNİMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR KURAL TABANLI BIM YAKLAŞIMI

Muammer YAMAN
Miraç Muhammed KARACA

ÖZET

Yangın güvenliği, mimari tasarım sürecinde yaşam güvenliğinin sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel tasarım süreçlerinde yangın güvenliği kontrolleri çoğunlukla proje tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen manuel değerlendirmelere dayanmaktadır. Bu durum, tasarımın ileri aşamalarında ortaya çıkan uyumsuzlukların giderilmesini zorlaştırmakta ve zaman kaybına yol açmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM) teknolojileri, tasarım sürecinde mevzuat uyumluluğunun otomatik olarak denetlenmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, hükme dayalı yangın güvenliği mevzuatının BIM ortamında kontrol edilmesine yönelik kural tabanlı bir değerlendirme mekanizmasının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında öncelikle ulusal yangın güvenliği yönetmeliğinde yer alan kullanıcı yükü hesaplama yöntemleri, kaçış mesafeleri, merdiven genişlikleri, kaçış kapısı boyutları gibi temel tasarım kriterleri analiz edilmiştir. Bu kriterler sayısal parametrelere dönüştürülerek BIM ortamında kullanılabilecek bir kural seti oluşturulmuştur. Geliştirilen sistemde, BIM modelinde tanımlanan mekânsal veriler kullanılarak kullanıcı yükü hesaplanmakta, gerekli çıkış kapasitesi belirlenmekte ve kaçış mesafelerinin mevzuata uygunluğu otomatik olarak kontrol edilmektedir. Önerilen yaklaşım, bir konaklama binası üzerinde gerçekleştirilen alan çalışması ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, BIM tabanlı kural kontrol mekanizmasının yangın güvenliği açısından tasarım sürecinde erken aşamada hataların tespit edilmesini sağladığını ve mevzuata uyumluluk denetimini önemli ölçüde kolaylaştırdığını göstermektedir. Çalışmanın, BIM tabanlı yangın güvenliği analizlerinin geliştirilmesine ve mimari tasarım süreçlerinde otomatik mevzuat kontrol sistemlerinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar sözcükler: Kaçış yolları, kullanıcı yükü, hükme dayalı mevzuatlar, yangın güvenliği, yapı bilgi modellemesi (YBM)

A RULE-BASED BIM APPROACH FOR EVALUATION ON OCCUPANT LOAD AND MEANS OF EGRESS REQUIREMENTS

ABSTRACT

Fire safety is critical importance in ensuring life safety within the architectural design process. In conventional design practices, fire safety assessments are generally based on manual evaluations conducted after the completion of the project. This situation makes it difficult to resolve non-compliances identified at later stages of design and leads to significant time loss. Today, widely adopted Building Information Modeling (BIM) technologies enable the automated verification of regulatory compliance during the de-

sign process. This study aims to develop a rule-based evaluation mechanism for checking prescriptive fire safety regulations within a BIM environment. Within the scope of the study, fundamental design criteria specified in the national fire safety code-such as occupant load calculations, travel distances, stair widths, and the dimensions of exit doors were first analyzed. These criteria were then transformed into numerical parameters to establish a rule set that can be implemented within a BIM environment. In the developed system, occupant load is calculated using spatial data defined in the BIM model, the required egress capacity is determined, and compliance of travel distances with regulatory requirements is automatically verified. The proposed approach was tested through a case study conducted on an accommodation building. The results demonstrate that the BIM-based rule-checking mechanism enables the early detection of design errors related to fire safety and significantly facilitates regulatory compliance verification. It is expected that this study will contribute to the advancement of BIM-based fire safety analyses and promote the wider adoption of automated code compliance systems in architectural design processes.

Keywords: Means of egress, occupant load, prescriptive regulations, fire safety, building information modeling (BIM)

1. GİRİŞ

Yangın, tarih boyunca yapılı çevreyi tehdit eden en önemli afetlerden biri olmuş; can kaybı, ekonomik zarar ve kültürel mirasın yok olması gibi geri dönüşü olmayan sonuçlara neden olmuştur. Kentleşme hızının artması, yapıların daha karmaşık mekânsal organizasyonlara sahip olması ve kullanıcı yoğunluğunun giderek yükselmesi, yangın güvenliği konusunu mimarlık, inşaat mühendisliği ve afet yönetimi disiplinlerinin temel araştırma alanlarından biri hâline getirmiştir [1]. Günümüzde yangın güvenliği yalnızca yangının söndürülmesine yönelik teknik önlemlerle sınırlı olmayıp, yangının ortaya çıkmasının önlenmesi, erken algılanması, duman kontrolü, yapısal dayanımın korunması, kullanıcıların güvenli tahliyesi ve olay sonrası müdahale süreçlerini kapsayan bütüncül bir risk yönetimi yaklaşımı olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle yapı tasarım sürecinde alınan kararların, yapının tüm yaşam döngüsü boyunca yangın güvenliğini doğrudan etkilediği kabul edilmektedir [2].

Dünya genelinde meydana gelen yapısal yangınlar, yangın güvenliğinin yalnızca teknik bir tasarım problemi olmadığını aynı zamanda önemli bir toplumsal güvenlik sorunu olduğunu göstermektedir. Raporlardan elde edilen uluslararası istatistikler, her yıl milyonlarca yangın olayı sonucunda binlerce kişinin yaşamını yitirdiğini ve milyarlarca dolarlık ekonomik kayıp oluştuğunu ortaya koymaktadır [3-4]. Özellikle kapalı yapılarda meydana gelen yangınlarda ölüm nedenlerinin önemli bir bölümü doğrudan alev temasından değil; toksik gazlar, yoğun duman, yön bulma güçlüğü ve geciken tahliyeden kaynaklanmaktadır. Bu durum, güvenli kaçış sistemlerinin ve etkili tahliye planlamasının yangın güvenliğinin en kritik bileşenlerinden biri olduğunu göstermektedir. U.S. Fire Administration (USFA) ve ilgili araştırmalar, yapısal yangınlarda tahliye problemleri ve uygun olmayan kaçış rotalarının önemli sayıda can kaybına neden olduğunu bildirmektedir [4].

Yangın güvenliği açısından en yüksek risk grubunda değerlendirilen yapı türlerinden biri konaklama amaçlı yapılardır. Oteller, tatil köyleri, pansiyonlar ve benzeri konaklama tesisleri kullanıcı profili, kullanım süreleri ve mekânsal organizasyonları nedeniyle diğer yapı türlerinden farklı özellikler göstermektedir. Kullanıcıların büyük kısmının binaya yabancı olması, gece saatlerinde uyku hâlinde bulunmaları, farklı yaş gruplarından ve fiziksel yeterlilikleri bulunan bireylerin aynı yapıyı kullanmaları, iletişim için kullanıcılarının dil becerilerinin farklı seviyelerde olması tahliye sırasında oluşabilecek riskleri arttırmaktadır. Bu duruma ek olarak çok katlı plan şemaları, uzun koridorlar, merkezi çekirdekler, restoranlar, toplantı salonları ve servis

alanlarının birlikte bulunması, konaklama amaçlı yapılarda yangın sırasında tahliye organizasyonunu daha karmaşık hâle getirmektedir. Özellikle ilk kez kullanılan bir yapıda kullanıcıların çıkış noktalarını önceden bilmemesi, tahliye süresini uzatan temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir [5-6]. Geçmişte yaşanan büyük otel yangınları, konaklama yapılarında yangın güvenliğinin önemini açık biçimde ortaya koymuştur. 1946 yılında meydana gelen Winecoff Hotel yangını 119 kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuş ve modern yangın güvenliği yönetmeliklerinin gelişiminde önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur [7]. Benzer şekilde 1980 yılında Las Vegas'taki MGM Grand Hotel yangınında 85 kişi yaşamını yitirirken yüzlerce kişi yaralanmıştır. Bu olay sonrasında otomatik söndürme sistemleri, duman kontrol sistemleri ve tahliye stratejileri birçok ülkede yeniden değerlendirilmiştir [8]. Ülkemizde ise yakın dönemde yaşanan en dikkat çekici yangın olaylarından biri, 21 Ocak 2025 tarihinde Bolu Kartalkaya Kayak Merkezi'nde bulunan Grand Kartal Otel'de meydana gelen yangındır. Gece saatlerinde başlayan yangın kısa sürede yapının üst katlarına yayılmış, tahliye sürecinde yaşanan güçlükler nedeniyle 78 kişi yaşamını yitirmiş ve çok sayıda kişi yaralanmıştır [9]. Geçmişten günümüze gelen yıllar içerisinde farklı ülkelerde meydana gelen otel yangınları göstermiştir ki, yalnızca pasif yangın güvenlik önlemlerinin sağlanması yeterli değildir; kullanıcı davranışlarının, duman hareketlerinin ve tahliye süreçlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Performans analizlerine dayalı tasarım yaklaşımlarının gelişim göstermesinde bu olayların önemli etkisi bulunmaktadır.

Yangın güvenliği tasarımında ülkeler genel olarak iki farklı yaklaşımı benimsemektedir. Bunlardan ilki, uzun yıllardır kullanılan hükme dayalı tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda yönetmelikler; kaçış yolu genişlikleri, kaçış mesafeleri, merdiven sayıları, yangın dayanım süreleri, kapı ölçüleri, duman kontrol sistemleri ve söndürme sistemleri gibi tasarım kriterlerini kesin hükümler hâlinde tanımlamaktadır. Tasarımcıların temel sorumluluğu ise projelerinin ilgili yönetmelik hükümlerine uygunluğunu sağlamaktır. Hükme dayalı sistemlerin en önemli avantajları uygulama kolaylığı, denetlenebilirlik ve standartlaşmayı sağlamasıdır. Bununla birlikte bu yaklaşım, kullanıcı davranışlarını, farklı kullanım senaryolarını ve yapıya özgü riskleri çoğu zaman dikkate almamaktadır. Dolayısıyla yönetmeliğe tam uygun tasarlanmış bir yapının her yangın senaryosunda optimum güvenlik düzeyini sağlayacağı garanti edilememektedir. Özellikle karmaşık geometrilere sahip büyük ölçekli yapılarda yalnızca yönetmelik hükümlerinin kontrol edilmesi, gerçek yangın performansını değerlendirmek açısından yetersiz kalabilmektedir. Bu sınırlılıklar nedeniyle son yıllarda performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı giderek yaygınlaşmaktadır. Performansa dayalı yaklaşımda tasarımın başarısı yalnızca yönetmelik maddelerine uygunlukla değil, yapının farklı yangın senaryolarındaki gerçek davranışı üzerinden değerlendirilmektedir. Bu kapsamda yangının büyümesi, dumanın yayılması, sıcaklık değişimleri, görüş mesafesi, toksik gaz konsantrasyonları ve kullanıcı tahliyesi bilgisayar simülasyonları yardımıyla analiz edilmektedir. Böylece farklı mimari alternatiflerin yangın güvenliği performansları karşılaştırılabilmekte ve tasarım sürecinde bilimsel verilere dayalı kararlar alınabilmektedir [10-12]. Günümüzde özellikle yüksek yapılar, havaalanları, hastaneler, alışveriş merkezleri ve konaklama tesisleri gibi karmaşık yapılarda performans temelli analizler önemli bir tasarım aracı olarak kullanılmaktadır.

Performans temelli tasarımın yaygınlaşmasıyla birlikte Yapı Bilgi Modellemesi, YBM (Building Information Modeling-BIM), yangın güvenliği çalışmalarında önemli bir dijital platform hâline gelmiştir. BIM yalnızca üç boyutlu geometrik model üretmeyi sağlayan bir yazılım teknolojisi olmayıp; mimari, taşıyıcı sistem, mekanik, tesisat, elektrik sistemleri ve bina işletme verilerini ortak bir veri tabanında bütünleştiren dijital bilgi yönetim sistemidir. Tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde disiplinler arası koordinasyonu artırması nedeniyle BIM günümüzde yapı sektörünün en önemli dijital dönüşüm araçlarından biri olarak kabul edilmektedir. Yangın güvenliği açısından BIM'in sağladığı en önemli avantajlardan biri, yapı geometrisinin yangın simülasyon yazılımlarına doğrudan aktarılabilmesidir [13]. Fire Dynamics Simulator (FDS), PyroSim, Pathfinder ve benzeri yangın ile tahliye simülasyon yazılımlarının BIM modelleriyle entegre çalışabilmesi sayesinde yapı geometrisi ve bina bileşenlerine ilişkin veriler doğrudan analiz ortamına aktarılabilmekte, böylece manuel model oluşturma sürecinden kaynaklanan zaman kaybı ve modelleme hataları önemli ölçüde azaltılmaktadır [14]. Ayrıca BIM tabanlı platformların nesnelerin interneti (IoT), sensör ağları, bina yönetim sistemleri (BMS) ve gerçek zamanlı konum verileri ile bütünleştirilmesi, yangının dinamik gelişimine bağlı

olarak güvenli tahliye rotalarının güncellenmesine ve acil durum karar destek sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır [15]. Son yıllarda geliştirilen birçok araştırmada BIM, yangın yayılımı simülasyonları, ajan tabanlı tahliye modelleri ve karar destek sistemleriyle birlikte kullanılarak güvenli kaçış rotalarının belirlenmesi ve risk analizlerinin gerçekleştirilmesinde etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir.

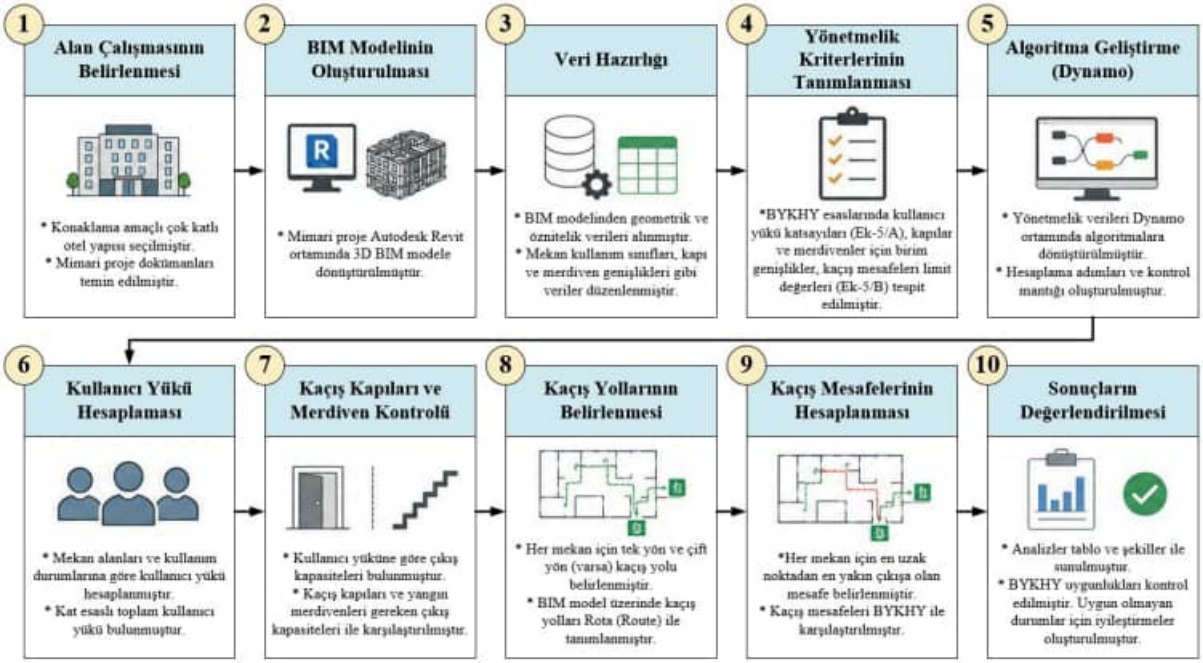
Türkiye'de yangın güvenliği tasarımı, temel olarak Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) çerçevesinde düzenlenmektedir [16]. Bu yönetmelik, binaların kullanım sınıfı, kullanıcı yükü, yapı yüksekliği ve risk seviyesine bağlı olarak kaçış yollarının düzenlenmesi, yangın dayanım kriterleri ve aktif/pasif koruma sistemlerine ilişkin minimum gereklilikleri tanımlayan hükme dayalı bir yaklaşım benimsemektedir. Bu yaklaşımda tasarım süreci, önceden tanımlanmış sayısal sınır değerlerin (kaçış uzaklıkları, merdiven ve kapı genişlikleri, çıkış sayısı ve kullanıcı yükü katsayıları gibi) sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle yangın güvenliği tasarımı büyük ölçüde uygunluk kontrolü mantığı ile yürütülmekte, tasarım alternatiflerinin performans açısından karşılaştırılmasından ziyade yönetmelik maddelerine uyum ön planda tutulmaktadır. Bu bağlamda BIM tabanlı sistemler, hükme dayalı kontrol süreçlerinin otomatikleştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Literatürde BIM modelleri üzerinden kullanıcı yükü hesaplamaları, kaçış yolu genişlik kontrolleri ve maksimum kaçış mesafesi analizlerinin kural tabanlı algoritmalar ile gerçekleştirilebildiği ve bu sayede tasarım aşamasında erken geri bildirim sağlanabildiği belirtilmektedir [17]. Özellikle tek yön ve çift yön kaçış senaryolarında kaçış mesafelerinin değerlendirilmesi, kapı ve merdiven kapasite analizleri ile birlikte BIM ortamında parametrik olarak kontrol edilebilmekte; böylece manuel hesaplamalardan kaynaklanan hata payı azaltılmaktadır [18-19]. Güncel çalışmalar, BIM tabanlı kural kontrol sistemlerinin yangın güvenliği yönetmeliklerinin dijital ortama aktarılmasını mümkün kıldığını ve tasarım sürecinde karar destek mekanizması olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, konaklama amaçlı bir yapının yangın güvenliği performansı, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamında tanımlanan hükme dayalı kriterler esas alınarak BIM tabanlı bir kontrol yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kullanıcı yükü, kapı ve merdiven genişlikleri ve kaçış mesafeleri (tek yön ve çift yön) gibi temel tasarım parametreleri BIM modeli üzerinden parametrik olarak analiz edilerek yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece tasarım sürecinde yalnızca manuel hesaplamalara dayalı kontrol yerine, BIM ortamında kural tabanlı bir doğrulama mekanizması geliştirilmiş ve olası uygunluk sorunlarının erken aşamada tespit edilerek uygun hale getirilmesini sağlanmıştır. Bu yaklaşım, örneklem olarak ele alınan konaklama amaçlı yapılarda yangın güvenliği tasarımının daha sistematik, hızlı ve hata payı düşük bir şekilde yürütülmesine katkı sunmaktadır.

2. ÇALIŞMANIN METODOLOJİSİ

Yapıların yangın güvenliği performansının yalnızca teorik yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi, uygulamada karşılaşılabilecek tasarım problemlerinin ortaya konulması açısından çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, hükme dayalı yangın güvenliği kriterlerinin gerçek bir yapı üzerinde incelenmesi ve yönetmelik hükümlerinin uygulamadaki karşılığının değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, tasarım aşamasında bulunan konaklama amaçlı bir otel binası alan çalışması olarak seçilmiş ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)'nde tanımlanan temel yangın güvenliği kriterleri BIM tabanlı bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Araştırma süreci; öncelikle BYKHY'de yer alan yangın güvenliği hükümlerinin (kullanıcı yükü, kapı-merdiven çıkış kapasiteleri ve kaçış mesafeleri) parametrik kurallara dönüştürülmesi, ardından bu kuralların paylaşımlı parametreler aracılığıyla BIM nesnelerine entegre edilmesi ve Autodesk Dynamo ortamında geliştirilen bir kural motoru kullanılarak otomatik mevzuat doğrulamasının gerçekleştirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Geliştirilen sistem, doğrulama işlemini

yalnızca tasarım tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen bir kontrol süreci olarak değil, mimari tasarımın erken aşamalarından itibaren sürekli geri bildirim sağlayan bir karar destek mekanizması olarak ele almaktadır. Böylece tasarım süreci boyunca yönetmelik uyumsuzluklarının erken dönemde belirlenmesi ve gerekli revizyonların zamanında yapılması mümkün hale gelmektedir. Son aşamada ise geliştirilen yöntemin uygulanabilirliği seçilen otel binası üzerinde test edilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 1). Böylece hem yönetmelik hükümlerinin gerçek bir proje üzerindeki uygulanabilirliği ortaya konulmuş hem de geliştirilen BIM tabanlı kontrol yönteminin pratik kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir.



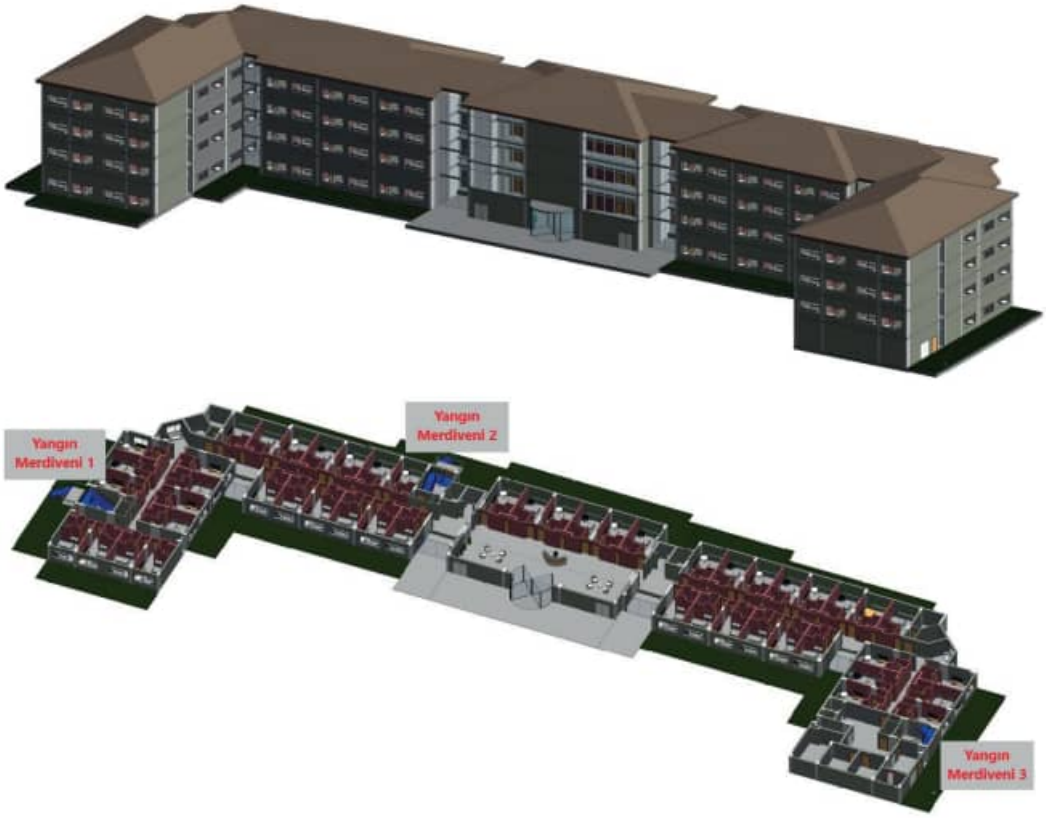
Şekil 1. Yöntem ve akış şeması (Yazarlar tarafından Microsoft Visio aracılığıyla hazırlanmıştır.)

2.1. Alan Çalışması

Araştırma kapsamında incelenen alan çalışması, konaklama amacıyla tasarım aşamasında olan çok katlı (zemin kat + 3 kat) bir otel binasıdır. Üst katlar birbirini tekrar etmektedir. Yapının mimari özellikleri, yangın tahliye analizlerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ortamına aktarılmış ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamında değerlendirilmiştir. Mimari projeler incelendiğinde yapının zemin katı ile tipik üst katlarının farklı fonksiyonlara sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle yangın güvenliği analizlerinde her iki plan tipi ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Alan çalışmasının zemin kat planı, yapının ana girişinin bulunduğu ve kullanıcı sirkülasyonunun en yoğun gerçekleştiği kat olarak tasarlanmıştır. Bu katta giriş-lobi, güvenlik birimi, servis giriş holü, ofisler, teknik hacimler (elektrik odası, enerji odası ve servis depoları), standart konaklama odaları ile düşey sirkülasyonu sağlayan asansör holleri ve yangın merdivenleri (üç adet) yer almaktadır. Ayrıca yapının farklı bloklarını birbirine bağlayan koridor sistemi sayesinde kullanıcı hareketi merkezi dolaşım aksları üzerinden sağlanmaktadır. Zemin katta hem konaklama kullanıcılarının hem de personelin aynı dolaşım sistemini kullanması nedeniyle bu kat, yangın tahliye senaryolarında en kritik bölgelerden biri olarak değerlendirilmiştir. Tipik üst kat planlar ise büyük ölçüde konaklama fonksiyonuna ayrılmış olup standart konaklama oda birimlerinden ve destek mekânlarından oluşmaktadır. Kat planında odalar uzun koridorlar boyunca doğrusal olarak yerleştirilmiş, koridorların belirli noktalarında asansör holleri ve yangın merdivenleri (üç adet) konumlandırılmıştır. Bunun yanında galeri boşlukları ile oluşturulan iç mekân organizasyonu, doğal aydınlatma ve mekânsal süreklilik sağlamakla birlikte yangın ve duman hareketi açısından ayrıca değerlendirilmesi gereken mimari bir özellik oluşturmaktadır. Üst katlarda dolaşım sistemi zemin kat ile benzer prensiplere

sahip olmakla birlikte, kullanıcıların büyük bölümünün konaklayan misafirlerden oluşması nedeniyle tahliye davranışlarının zemin kata göre farklılık gösterebileceği düşünülmektedir. Yapıda düşey kaçış sistemi, farklı bloklarda konumlandırılmış yangın merdivenleri (üç adet) ile desteklenmekte, her merdivene koridorlar üzerinden erişim sağlanmaktadır (Şekil 2). Ayrıca asansör holleri ile yangın merdivenlerinin birbirine yakın konumlandırılması, kullanıcıların yön bulmasını kolaylaştıran önemli bir tasarım özelliği olarak değerlendirilmektedir. Kaçış yolları, odanın en uzak mesafesinden başlayarak koridorlar, hol alanları ve yangın merdivenleri aracılığıyla güvenli çıkışlara ulaşacak şekilde planlanmıştır. Bu mekânsal organizasyon, yönetmelikte belirtilen maksimum kaçış mesafeleri ile çıkış kapasitesi kriterlerinin BIM ortamında analiz edilmesine uygun bir yapı oluşturmaktadır.



Şekil 2. Alan çalışması BIM modeli ve zemin kat plan perspektifi

2.2. BIM Ortamında Veri İşleme ve Uygulamalar

Bu çalışma kapsamında, konaklama amaçlı yapının mimari projesi Autodesk Revit ortamında üç boyutlu bir Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) olarak oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde yalnızca yapının geometrik özellikleri değil, aynı zamanda yangın güvenliği değerlendirmelerinde kullanılacak tüm yapısal ve mekânsal bilgiler de dijital modele entegre edilmiştir. Her bir mekânın kullanım sınıfı, alanı, yangın merdivenleri, çıkış kapıları ve kaçış güzergâhlarını oluşturan koridor sistemleri BIM nesneleri olarak tanımlanmıştır. Böylece model, yalnızca üç boyutlu bir görselleştirme aracı olmaktan çıkarılarak yönetmelik kontrollerinin gerçekleştirilebileceği parametrik bir veri tabanına dönüştürülmüştür. BIM modelinde yer alan nesnelere ait geometrik ve öznitelik verileri, Autodesk Dynamo görsel programlama platformu aracılığıyla okunmuş ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)'nde tanımlanan hükme dayalı tasarım kriterlerini esas alan algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar sayesinde yönetmelikte yer alan sayısal koşullar dijital ortama aktarılarak tasarımın mevzuata uygunluğu otomatik olarak değerlendirilebilir hâle getirilmiştir.

Geliştirilen Dynamo tabanlı sistemde öncelikle mahal alanları BIM modeli üzerinden otomatik olarak okunmuş ve BYKHY'de belirtilen kullanıcı yükü katsayıları kullanılarak her birime ait kullanıcı yükü hesaplanmış-

tır. Hesaplanan kullanıcı yükleri esas alınarak gerekli çıkış kapasitesi belirlenmiş; çıkış kapılarının net geçiş genişlikleri, yangın merdivenlerinin efektif genişlikleri ve toplam çıkış kapasitesi yönetmelikte öngörülen minimum gereklilikler açısından kontrol edilmiştir. Bunun yanı sıra BIM modeli içerisinde oluşturulan dolaşım ağı kullanılarak her birime ait tek yön ve alternatif yönlü kaçış güzergâhları otomatik olarak belirlenmiş, bu güzergâhlar boyunca gerçek yürüme mesafeleri hesaplanarak BYKHY'de tanımlanan maksimum kaçış mesafeleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece geleneksel yöntemlerde manuel olarak gerçekleştirilen ve zaman alıcı olan yönetmelik kontrolleri parametrik bir iş akışına dönüştürülmüş, tasarım sürecinde ortaya çıkabilecek uygunsuzlukların erken aşamada tespit edilmesi ve farklı tasarım alternatiflerinin hızlı biçimde değerlendirilebilmesi sağlanmıştır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada geliştirilen BIM tabanlı yönetmelik kontrol sistemi, konaklama amaçlı bina olarak tasarım aşamasında bulunan örnek otel yapısı üzerinde uygulanmıştır. Uygulamalarda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamında tanımlanan hükme dayalı yangın güvenliği kriterlerinin uygunluğu değerlendirilmiştir. Autodesk Revit ortamında oluşturulan parametrik BIM modeli, Autodesk Dynamo ile geliştirilen algoritmalar aracılığıyla işlenmiş ve yönetmelikte tanımlanan kullanıcı yükü, çıkış kapasitesi, kaçış kapıları, yangın merdivenleri ve kaçış mesafelerine ilişkin temel tasarım kriterleri otomatik olarak analiz edilmiştir.

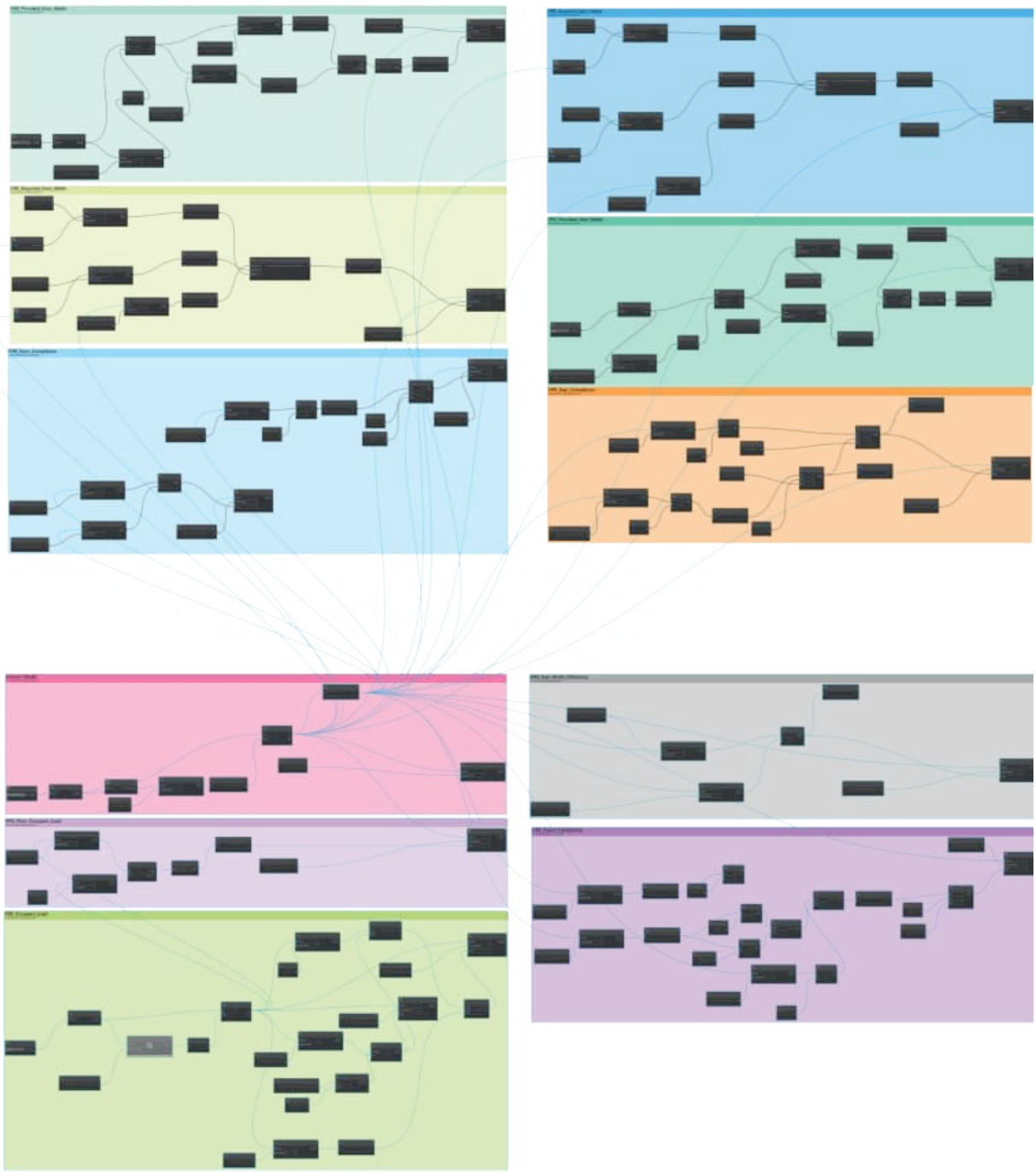
BIM modelinin parametrik yapısı sayesinde mimari projeye ait geometrik ve öznitelik verileri doğrudan analiz sürecine aktarılmıştır. Analizlerde yangın güvenliğinde kullanılacak hesaplamalarda paylaşımlı parametreler oluşturulmuştur (Tablo 1). Kullanım alanları, düşey sirkülasyon elemanları ve çıkış noktalarına ilişkin bilgiler model üzerinden okunarak yönetmelik hükümlerine (birim genişlik ve hesaplamalar) göre değerlendirilmiştir (Tablo 2). Kullanıcı yükü hesaplamaları ve merdiven-kapı gereksinimlerine (gereken ve mevcut) yönelik hesaplama algoritmaları kaçış yolları ve mesafelerinden bağımsız olarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Kurgulanan yaklaşım yalnızca mevcut tasarımın uygunluğunu incelemekle kalmamış, aynı zamanda tasarım sürecinde meydana gelebilecek olası plan değişikliklerinin de kısa sürede yeniden analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Gerçekleştirilen algoritmalar sırasıyla kullanıcı yükü hesaplamaları, yangın merdivenlerinin değerlendirilmesi, kaçış kapılarının yeterlilik analizi (Şekil 3) ve kaçış yolları ile kaçış mesafelerinin (Şekil 4) incelenmesi başlıkları altında sunulmuştur.

Tablo 1. Autodesk Revit üzerinde oluşturulan paylaşımlı parametreler

No	Parameter Name	Discipline	Type of Parameter	Group Parameter Under	Instance / Type	Category / Family	Default / Data Source
1	FIRE_Occupancy_Type	Common	Text	Identity Data	Instance	Rooms	User input
2	FIRE_Occupant_Load_Factor	Common	Number	Data	Instance	Rooms	Dynamo / regulation table
3	FIRE_Include_In_Floor_Total	Common	Yes/No	Data	Instance	Rooms	User input
4	FIRE_Occupancy_Code	Common	Text	Data	Instance	Rooms	User input
5	FIRE_Occupant_Load	Common	Number	Data	Instance	Rooms	Dynamo output
6	FIRE_Room_Capacity	Common	Integer	Data	Instance	Rooms	User input
7	FIRE_Include_In_Exit_Door_Width	Common	Yes/No	Data	Instance	Doors	User input
8	FIRE_Clear_Door_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Doors	User input / Dynamo
9	FIRE_Exit_Floor_Code	Common	Text	Identity Data	Instance	Doors + Stairs	User input
10	FIRE_Include_In_Exit_Stair_Width	Common	Yes/No	Data	Instance	Stairs	User input
11	FIRE_Clear_Stair_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Stairs	User input / Dynamo
12	FIRE_Floor_Code	Common	Text	Identity Data	Instance	Generic Models	User input
13	FIRE_Floor_Occupant_Load	Common	Number	Data	Instance	Generic Models	Dynamo output
14	FIRE_Stair_Unit_Capacity	Common	Number	Data	Type	Generic Models	30
15	FIRE_Door_Unit_Capacity	Common	Number	Data	Type	Generic Models	40
16	FIRE_Width_Unit	Common	Length	Dimensions	Type	Generic Models	500 mm
17	FIRE_Required_Stair_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
18	FIRE_Provided_Stair_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
19	FIRE_Stair_Width_Difference	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
20	FIRE_Stair_Compliance	Common	Yes/No	Data	Instance	Generic Models	Dynamo output
21	FIRE_Required_Door_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
22	FIRE_Provided_Door_Width	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
23	FIRE_Door_Width_Difference	Common	Length	Dimensions	Instance	Generic Models	Dynamo output
24	FIRE_Door_Compliance	Common	Yes/No	Data	Instance	Generic Models	Dynamo output
25	FIRE_Overall_Compliance	Common	Yes/No	Data	Instance	Generic Models	Dynamo output

Tablo 2. Çıkış kapasitesi hesaplamalarında girdiler ve çıktıların tanımlanması

Calculation	Formula	Input 1	Input 2	Width Unit	Output Parameter
Room occupant load	Area / Occupant Load Factor	Room Area	FIRE_Occupant_Load_Factor	-	FIRE_Occupant_Load
Floor occupant load	SUM included room loads	FIRE_Occupant_Load	FIRE_Include_In_Floor_Total = Yes	-	FIRE_Floor_Occupant_Load
Required stair width	Floor Load / 30 × 0.50 m	FIRE_Floor_Occupant_Load	FIRE_Stair_Unit_Capacity	FIRE_Width_Unit	FIRE_Required_Stair_Width
Required door width	Floor Load / 40 × 0.50 m	FIRE_Floor_Occupant_Load	FIRE_Door_Unit_Capacity	FIRE_Width_Unit	FIRE_Required_Door_Width
Provided stair width	SUM included clear stair widths	FIRE_Clear_Stair_Width	Include = Yes + matching floor code	-	FIRE_Provided_Stair_Width
Provided door width	SUM included clear door widths	FIRE_Clear_Door_Width	Include = Yes + matching floor code	-	FIRE_Provided_Door_Width
Stair difference	Provided - Required	FIRE_Provided_Stair_Width	FIRE_Required_Stair_Width	-	FIRE_Stair_Width_Difference
Door difference	Provided - Required	FIRE_Provided_Door_Width	FIRE_Required_Door_Width	-	FIRE_Door_Width_Difference
Overall compliance	Stair compliance AND Door compliance	FIRE_Stair_Compliance	FIRE_Door_Compliance	-	FIRE_Overall_Compliance



Şekil 3. Kullanıcı yükü, gereken-mevcut kaçış kapıları ve gereken-mevcut yangın merdivenleri hesaplama algoritmasının oluşturulması (Dynamo)

3.1. Kullanıcı Yükünün Hesaplanması

Yangın güvenliği tasarımında kaçış sistemlerinin boyutlandırılmasını doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biri kullanıcı yüküdür. Bu nedenle analiz sürecinin ilk aşamasında BIM modeli içerisinde tanımlanan tüm mekânlar kullanım sınıflarına göre değerlendirilmiş ve her mekânın net kullanım alanı Autodesk Dynamo algoritması tarafından otomatik olarak okunmuştur. Daha sonra BYKHY'de belirtilen kullanıcı yükü katsayıları kullanılarak mekân bazında kullanıcı sayıları hesaplanmış ve kat bazında toplam kullanıcı yükleri belirlenmiştir. Parametrik hesaplama yöntemi sayesinde kullanıcı yükü değerleri herhangi bir manuel müdahaleye gerek kalmaksızın doğrudan BIM modeli üzerinden elde edilmiştir. Bu yaklaşım özellikle çok sayıda mekâna sahip yapılarda hesaplama süresini önemli ölçüde azaltmakta ve manuel hesaplamalarda oluşabilecek veri giriş hatalarını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca mimari projede meydana gelen herhangi bir alan değişikliğinde kullanıcı yükleri otomatik olarak yeniden hesaplanabildiğinden, tasarım sürecinde güncelliğini koruyan dinamik bir değerlendirme ortamı oluşturulmuştur. Bu bölümde elde edilen kullanıcı yükü değerleri, sonraki analizlerde gerekli çıkış kapasitesinin belirlenmesi, yangın merdivenlerinin yeterlilik değerlendirmesi ve kaçış kapılarının kapasite analizlerinde temel veri olarak kullanılmıştır. Ayrıca yatak odalarının alanlarına ve kullanıcı yükü katsayılarına göre hesaplanan kullanıcı yükünün, odanın mevcut yatak kapasitesinden az olduğu durumlarda odanın kullanıcı yükü yatak kapasitesi olarak alınmıştır. Mekânlara ve katlara ilişkin kullanıcı yükü hesaplamaları Tablo 3'te sunulmuştur. İncelenen alan çalışmasında zemin katta 157 kullanıcı yükü; tip üst katlarda ayrı ayrı 111 kullanıcı yükü hesaplanmıştır. Örneklem binanın toplam kullanıcı yükü 491 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Mekân ve kat esaslı kullanıcı yükünün hesaplanması (Tablo kısaltılmıştır.)

Level	Area	FIRE_Include_In_Floor_Total	FIRE_Occupancy_Code	FIRE_Occupancy_Type	FIRE_Room_Capacity	FIRE_Occupant_Load	FIRE_Occupant_Load_Factor
00_Zemin Kat Planı	2 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.083083	30
00_Zemin Kat Planı	9 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.299385	30
00_Zemin Kat Planı	9 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.308169	30
00_Zemin Kat Planı	26 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.856607	30
00_Zemin Kat Planı	9 m²	Yes	OCC02	Ofisler, dernek merkezleri, halk kütüphaneleri	0	0.93279	10
00_Zemin Kat Planı	152 m²	Yes	OCC03	Resepsiyon alanları, bekleme alanları, atrium zemini	0	50.727168	3
00_Zemin Kat Planı	17 m²	Yes	OCC02	Ofisler, dernek merkezleri, halk kütüphaneleri	0	1.727125	10
00_Zemin Kat Planı	17 m²	Yes	OCC02	Ofisler, dernek merkezleri, halk kütüphaneleri	0	1.680975	10
00_Zemin Kat Planı	10 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.328723	30
00_Zemin Kat Planı	10 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.322483	30
00_Zemin Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
00_Zemin Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
...	...	...	...	...	...	...	...
					Total:	157.533495	
01_Birinci Kat Planı	9 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.299385	30
01_Birinci Kat Planı	9 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.308169	30
01_Birinci Kat Planı	10 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.328723	30
01_Birinci Kat Planı	10 m²	Yes	OCC04	Depolar, ambarlar, makina daireleri	0	0.322483	30
01_Birinci Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
01_Birinci Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
01_Birinci Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
...	...	...	...	...	...	...	...
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
03_Üçüncü Kat Planı	19 m²	Yes	OCC01	Otel yatak odaları	2	2	20
					Total:	111.258761	
					Total:	491.309777	

3.2. Kaçış Kapıları ve Yangın Merdivenlerinin Değerlendirilmesi

Yangın güvenliği tasarımında kullanıcıların güvenli alanlara tahliye edilebilmesi, yalnızca yeterli sayıda çıkış sağlanmasına değil, aynı zamanda bu çıkışların kullanıcı yükünü karşılayabilecek kapasiteye sahip olmasına bağlıdır. Bu nedenle kullanıcı yükü hesaplamalarının tamamlanmasının ardından kaçış kapıları ve yangın merdivenleri birlikte değerlendirilmiş, her iki kaçış elemanının da Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamında tanımlanan hükme dayalı kriterleri sağlayıp sağlamadığı analiz edilmiştir. Değerlendirme sürecinde Autodesk Revit ortamında oluşturulan BIM modelindeki kapı ve merdiven elemanlarına ait geometrik bilgiler Autodesk Dynamo algoritmaları aracılığıyla okunmuş ve yönetmelikte belirtilen minimum tasarım kriterleri doğrultusunda otomatik olarak kontrol edilmiştir.

Analizin ilk aşamasında kullanıcı yükü hesaplamalarından elde edilen veriler kullanılarak her kat için gerekli toplam çıkış kapasitesi (merdiven ve kapı) belirlenmiştir. Daha sonra kaçış kapılarının net geçiş genişlikleri ile yangın merdivenlerinin efektif kullanım genişlikleri BIM modeli üzerinden otomatik olarak elde edilmiş ve ilgili kullanıcı yükleri dikkate alınarak yeterlilikleri değerlendirilmiştir. Böylece her bir kaçış elemanının yalnızca fiziksel boyutları değil, aynı zamanda hizmet ettiği kullanıcı kapasitesi de analiz sürecine dâhil edilmiştir. Kaçış kapılarının değerlendirilmesinde, kapıların net geçiş genişlikleri (toplam) esas alınmış ve her kapının hizmet verdiği kullanıcı sayısına bağlı olarak yönetmelikte belirtilen minimum çıkış kapasitesi koşullarını sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir. Yangın merdivenlerinin değerlendirilmesinde ise merdivenlerin net kullanım genişlikleri (toplam), katlar arasında hizmet verdikleri toplam kullanıcı yükü ile birlikte ele alınmıştır. Düşey kaçış sistemlerinin kapasitesi belirlenirken merdivenlerin taşıması gereken kullanıcı sayısı ile mevcut genişlikleri karşılaştırılmış ve yönetmelikte öngörülen minimum gereklilikler doğrultusunda uygunluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece kullanıcı yoğunluğunun fazla olduğu katlarda merdiven kapasitesinin yeterliliği objektif olarak değerlendirilmiş, olası kapasite yetersizliklerinin tasarım aşamasında belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

BIM tabanlı değerlendirme yönteminin önemli avantajlarından biri, kapılar ve merdivenlere ait tüm geometrik verilerin doğrudan model üzerinden okunabilmesi ve mimari projede gerçekleştirilen herhangi bir değişikliğin analiz sonuçlarına otomatik olarak yansıtılabilmesidir. Böylece kapı veya merdiven genişliklerinde yapılan revizyonlar sonrasında gerekli çıkış kapasitesi yeniden hesaplanabilmekte ve yönetmelik uygunluğu kısa sürede tekrar değerlendirilebilmektedir. Bu durum, geleneksel manuel kontrol süreçlerinde karşılaşılan zaman kaybını azaltırken hesaplama tutarlılığını artırmakta ve tasarım sürecinde karar verme mekanizmasını desteklemektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda, geliştirilen BIM ve Dynamo tabanlı kontrol yaklaşımının kaçış kapıları ile yangın merdivenlerinin yönetmelik uygunluğunu parametrik olarak değerlendirebildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, hem çıkış elemanlarının kapasite açısından yeterliliğinin belirlenmesine hem de olası tasarım revizyonlarının erken aşamada tespit edilmesine olanak sağlamıştır. Analiz sonuçlarına ilişkin ayrıntılı kullanıcı yükleri, gerekli çıkış genişlikleri, mevcut kapı ve merdiven ölçüleri ile yönetmelik (BYKHY) karşılaştırmaları Tablo 4'te sunulmuştur.

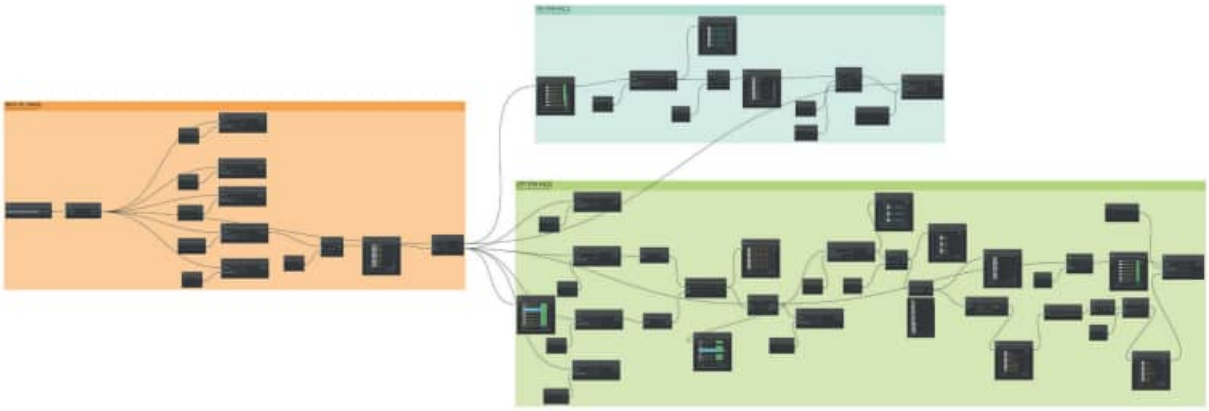
Tablo 4. Örneklem konaklama binasında çıkış kapasitelerinin kontrol edilmesi

Family and Type	Calculation Hub: Calculation Hub	Calculation Hub1: Calculation Hub	Calculation Hub2: Calculation Hub	Calculation Hub3: Calculation Hub
Generic Model Schedule 3				
FIRE_Floor_Code	00_Zemin Kat Planı	01_Birinci Kat Planı	02_İkinci Kat Planı	03_Üçüncü Kat Planı
FIRE_Floor_Occupant_Load	157.533495	111.258761	111.258761	111.258761
FIRE_Width_Unit	50	50	50	50
FIRE_Door_Unit_Capacity	40	40	40	40
FIRE_Stair_Unit_Capacity	30	30	30	30
FIRE_Provided_Door_Width	720	270	270	270
FIRE_Required_Door_Width	137	67	67	67
FIRE_Door_Width_Difference				
FIRE_Door_Complience	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
FIRE_Provided_Stair_Width	0	360	360	360
FIRE_Required_Stair_Width	0	263	185	185
FIRE_Stair_Check	No	Yes	Yes	Yes
FIRE_Stair_Width_Difference	0	175	175	175
FIRE_Stair_Complience	UYGULANMAZ	UYGUN	UYGUN	UYGUN
FIRE_Overal_Complience	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN

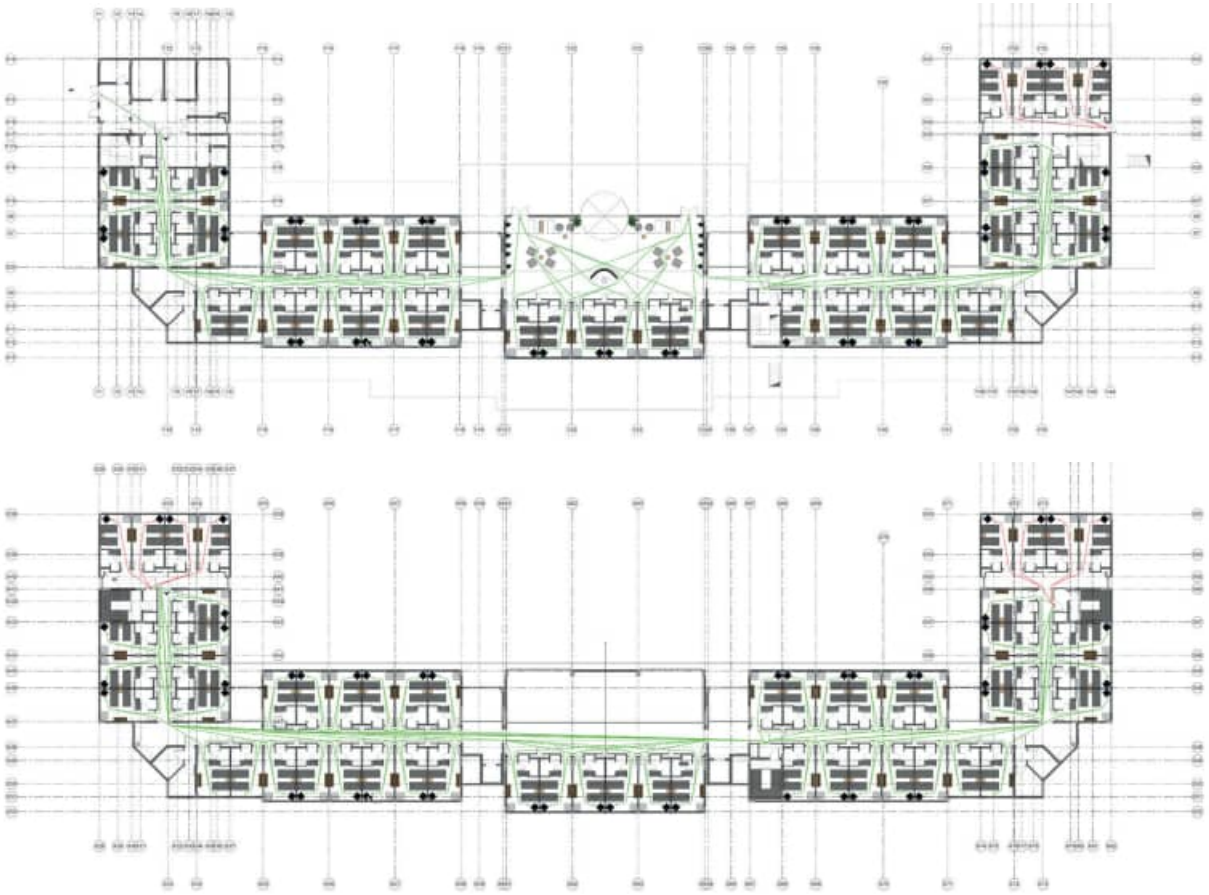
3.3. Kaçış Mesafelerinin Değerlendirilmesi

Yangın güvenliği açısından en kritik tasarım kriterlerinden biri kullanıcıların güvenli çıkışlara ulaşabilmeleri için kat edecekleri kaçış mesafeleridir. Bu nedenle BIM modeli içerisinde tüm mekânlar için kaçış güzergâhları oluşturulmuş ve kullanıcıların en uzak noktadan başlayarak en yakın güvenli çıkışa ulaşacağı gerçek

dolaşım rotaları belirlenmiştir. Her ne kadar BYKHY kapsamında *'Kaçış uzaklığı, yatak odası veya süit odanın çıkış kapısından başlayarak bir kaçış merdivenine, dış kaçış geçidine veya dış açık alana açılan çıkış kapısına kadar olan ölçüdür.'* ifadesi yer alsa da yatak odalarından kaçışlar odanın içinden en uzak noktadan alınmıştır (BYKHY Madde 50-4). Bu kapsam ile tüm kullanım sınıfları için ortak bir sistem oluşturabilmek ve konaklama amaçlı binalarda ise riskli olanı kontrol edebilmek amaçlanmıştır. Analizlerde doğrusal mesafe ve kuş uçuşu uzaklık yerine koridorlar, holler ve yangın merdivenleri boyunca izlenecek gerçek yürüme güzergâhları esas alınmıştır. Kaçış yollarında tek yön ve çift yön kural setleri ayrıca tanımlanmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 4. Kaçış yolları (tek yön ve çift yön) tasarım algoritmasının oluşturulması (Dynamo)



Şekil 5. Zemin ve tip üst kat kaçış yollarının Autodesk Revit ortamında oluşturulması (Yeşil renk iki yönlü kaçışı; kırmızı renk tek yönlü kaçışı göstermektedir. Kaçışlar tüm mekânlar için odanın en uzak noktasından en yakın çıkışa olarak tanımlanmıştır.)

Her mekân için tek yön kaçış ve alternatif yönlü kaçış senaryoları ayrı ayrı değerlendirilmiş, elde edilen

güzergâh uzunlukları BYKHY'de belirtilen maksimum kaçış mesafeleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece yalnızca en kısa kaçış yolu değil, alternatif kaçış olanakları da analiz edilmiş ve yönetmelik açısından kritik olabilecek bölgeler belirlenmiştir. Konaklama amaçlı binalar için otomatik söndürme sistemlerinin bulunmadığı durumlarda tek yön kaçış mesafesi 15 m; çift yön kaçış mesafesi 30 m olarak tespit edilmiştir (BYKHY, Ek-5/B). Yapılan uygulamada; tek yön kaçış mesafelerinde her mekân için sadece bir kaçış mesafesi ölçülmüştür. Çift yön kaçış mesafelerinde her mekân için iki bağımsız kaçış mesafesi de ayrı ayrı ölçülmüştür. Kaçış güzergâhlarının BIM modeli üzerinde otomatik olarak oluşturulması, özellikle karmaşık plan şemalarına sahip yapılarda manuel ölçümlerin neden olabileceği farklılıkları ortadan kaldırmış ve tüm ölçümlerin standart bir yöntemle gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Ayrıca geliştirilen algoritma sayesinde mimari planda meydana gelebilecek değişiklikler sonrasında kaçış yolları yeniden oluşturulabilmekte ve kaçış mesafeleri otomatik olarak güncellenebilmektedir. Bu durum, tasarım sürecinde farklı plan alternatiflerinin kısa sürede değerlendirilmesine olanak sağlayarak BIM tabanlı yöntemin önemli avantajlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Kaçış yolları ve mesafe analizlerine ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 5'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 5. Kaçış yollarının tek yön - çift yön olarak planlanması ve uygunluklarının kontrol edilmesi (Tablo kısaltılmıştır.)

From Room	Length	Level	To Room	FIRE_Egress_Type	FIRE_Egress_Limit	FIRE_Route_No	FIRE_Egress_Status	FIRE_Selected_Route	FIRE_Egress_Compliance
00_Zemin Kat Planı									
STANDART ODA ZE19	2360	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE19	6473	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE22	2354	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE22	6457	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE23	2473	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE23	6343	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
01_Birinci Kat Planı									
STANDART ODA ZE214	2165	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE214	4006	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE215	2046	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE215	4132	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE217	2188	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE217	4030	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN	Yes	UYGUN
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
00_Zemin Kat Planı									
STANDART ODA ZE29	3138	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE29	5747	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE30	3159	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE30	5704	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE32	4436	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE32	4346	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE33	5073	00_Zemin Kat Planı	SERVİS GİRİŞ HOLÜ ZE13	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE33	3659	00_Zemin Kat Planı	GİRİŞ-LOBİ ZE177	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
01_Birinci Kat Planı									
STANDART ODA ZE263	6707	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE327	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE263	3747	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE264	7268	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE327	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE264	3094	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE315	3672	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE327	ÇİFT YÖN	3000	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE315	6659	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE228	ÇİFT YÖN	3000	2	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
00_Zemin Kat Planı									
STANDART ODA ZE104	1111	00_Zemin Kat Planı	KORİDOR ZE172	TEK YÖN	1500	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE105	971	00_Zemin Kat Planı	KORİDOR ZE172	TEK YÖN	1500	1	UYGUN	Yes	UYGUN
01_Birinci Kat Planı									
STANDART ODA ZE223	1245	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	TEK YÖN	1500	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE224	1362	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	TEK YÖN	1500	1	UYGUN	Yes	UYGUN
STANDART ODA ZE225	1299	01_Birinci Kat Planı	HOL ZE250	TEK YÖN	1500	1	UYGUN	Yes	UYGUN
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
00_Zemin Kat Planı									
STANDART ODA ZE106	1789	00_Zemin Kat Planı	KORİDOR ZE172	TEK YÖN	1500	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL
STANDART ODA ZE107	1883	00_Zemin Kat Planı	KORİDOR ZE172	TEK YÖN	1500	1	UYGUN DEĞİL	Yes	UYGUN DEĞİL

Yapılan analizler sonucunda, kullanıcı yükü hesaplamalarına bağlı olarak belirlenen gerekli çıkış kapasitesi açısından mevcut kaçış kapılarının ve yangın merdivenlerinin BYKHY'de belirtilen minimum genişlik koşullarını sağladığı ve tahliye kapasitesi bakımından yeterli olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, gerçekleştirilen kaçış mesafesi analizlerinde bazı mekânlarda hem tek yönlü hem de çift yönlü kaçış mesafelerinin yönetmelikte tanımlanan sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu durum, özellikle kullanıcıların binaya yabancı olduğu ve gece kullanımının yoğun olduğu konaklama amaçlı binalarda yangın güvenliği açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bir tasarım kriteridir. Kaçış mesafelerinin iyileştirilmesi amacıyla mimari plan organizasyonunda değişiklikler yapılabileceği gibi, yapının otomatik yağmurlama sistemi ile korunması da etkili bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Nitekim BYKHY'de, otomatik söndürme sistemleri ile korunan yapılarda belirli koşullar altında izin verilen kaçış mesafelerinin arttırılmasına olanak tanınmaktadır. Bu nedenle, kaçış mesafesi bakımından uygun olmayan alanlarda aktif yangın güvenlik sistemlerinin uygulanması ve yönetmelikte tanımlanan alternatif tasarım hükümlerinden yararlanılması, hem yönetmelik uygunluğunun sağlanması hem de kullanıcı güvenliğinin arttırılması açısından önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamında yer alan hükme dayalı yangın güvenliği kriterlerinin Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) tabanlı otomatik olarak değerlendirilmesine yönelik bir yöntem geliştirilmiş ve tasarım aşamasında bulunan konaklama amaçlı çok katlı bir otel binası üzerinde uygulanmıştır. Geliştirilen yöntem kapsamında yapı Autodesk Revit ortamında parametrik olarak modellenmiş, Dynamo görsel programlama platformu kullanılarak yönetmelikte tanımlanan kullanıcı yükü hesaplamaları, gerekli çıkış kapasitesinin belirlenmesi, kaçış kapıları ve yangın merdivenlerinin yeterlilik analizleri ile tek yön ve çift yönlü kaçış mesafeleri otomatik olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, BIM ortamında oluşturulan parametrik modelin yalnızca üç boyutlu bir görselleştirme aracı olmadığı, aynı zamanda yönetmelik kontrollerinin gerçekleştirilebildiği dinamik bir karar destek sistemi olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Geliştirilen algoritmalar sayesinde kullanıcı yükü hesaplamaları, çıkış kapasitesinin belirlenmesi ve kaçış mesafelerinin değerlendirilmesi gibi geleneksel olarak manuel yürütülen işlemler tek bir dijital platform üzerinden gerçekleştirilebilmiş; böylece hesaplama süresi azaltılırken insan kaynaklı hata olasılığı da önemli ölçüde düşürülmüştür. Ayrıca parametrik model yapısı sayesinde mimari projede gerçekleştirilen herhangi bir değişikliğin analiz sonuçlarına otomatik olarak yansıtılabilmesi, tasarım sürecinde yönetmelik uygunluğunun sürekli olarak izlenebilmesine olanak sağlamıştır. Geliştirilen yöntemin en önemli katkılarından biri, BYKHY'nin hükme dayalı hükümlerinin algoritmik kurallara dönüştürülerek BIM ortamında otomatik olarak denetlenebilmesidir. Böylece geleneksel kontrol süreçlerinde tasarımcı veya denetleyici tarafından manuel olarak gerçekleştirilen hesaplamalar dijital ortama aktarılmış; kullanıcı yükü, çıkış kapasitesi ve kaçış mesafeleri gibi temel yangın güvenliği kriterlerinin hızlı, tekrarlanabilir ve standart bir yöntemle değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu yaklaşım, özellikle karmaşık plan organizasyonuna sahip yapılarda tasarım doğruluğunu artırırken, proje geliştirme sürecinde meydana gelebilecek olası yönetmelik uygunsuzluklarının erken aşamada belirlenmesine de katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte geliştirilen sistem, BYKHY'nin yalnızca kullanıcı yükü, çıkış kapasitesi ve kaçış mesafelerine ilişkin temel hükümlerini kapsamaktadır. Yönetmelikte yer alan duman kontrol sistemleri, yangına dayanım süreleri, yangın kompartımanları, yangın güvenlik holleri, acil durum asansörleri, söndürme sistemleri, algılama ve alarm sistemleri gibi diğer yangın güvenliği kriterleri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu nedenle gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda söz konusu hükümlerin de BIM tabanlı algoritmalara

entegre edilmesi, daha kapsamlı ve bütüncül bir otomatik yönetmelik kontrol sisteminin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca geliştirilen yöntemin yalnızca konaklama amaçlı bir yapı üzerinde uygulanmış olması, çalışmanın önemli sınırlılıklarından biridir. Gelecek araştırmalarda hastaneler, eğitim yapıları, alışveriş merkezleri, yüksek yapılar, endüstri yapıları ve ofis binaları gibi farklı kullanım sınıflarına sahip yapı tipolojileri üzerinde uygulamalar gerçekleştirilerek yöntemin farklı senaryolardaki performansı değerlendirilebilir. Böylece kullanım amacına bağlı olarak değişen kullanıcı yükü, tahliye davranışı ve yönetmelik gerekliliklerinin BIM tabanlı kontrol süreçlerine etkisi daha kapsamlı biçimde ortaya konulabilir. Diğer taraftan bu çalışma Autodesk Revit ortamında geliştirilen parametrik BIM modeli ve Dynamo algoritmaları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda yöntemin IFC (Industry Foundation Classes) tabanlı açık BIM modellerini destekleyecek şekilde geliştirilmesi, farklı BIM yazılımları arasında veri alışverişinin sağlanması ve yöntemin birlikte çalışabilirliğinin (*interoperability*) değerlendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca yapay zekâ destekli kural denetim sistemleri, semantik bilgi modelleri ve doğal dil işleme tabanlı yönetmelik yorumlama yaklaşımlarının BIM tabanlı kontrol süreçlerine entegre edilmesi, otomatik mevzuat denetiminin daha esnek, akıllı ve kapsamlı hale gelmesine katkı koyacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan hükme dayalı yangın güvenliği kriterlerinin BIM tabanlı otomatik olarak değerlendirilmesine yönelik uygulanabilir bir yöntem ortaya koymaktadır. Geliştirilen yaklaşım, tasarım sürecinde yönetmelik uygunluğunun hızlı ve güvenilir biçimde denetlenmesini sağlayarak hem tasarımcılar hem de denetim mekanizmaları için önemli bir karar destek aracı niteliği taşımaktadır. Dijital tasarım ve otomatik mevzuat denetimi alanındaki gelişmeler dikkate alındığında, BIM tabanlı bu tür sistemlerin gelecekte performansa dayalı yangın mühendisliği uygulamaları, dijital ikiz teknolojileri ve akıllı bina yönetim sistemleri ile bütünleşerek yangın güvenliği tasarım süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline geleceği değerlendirilmektedir.

5. REFERANSLAR

[1] BUCHANAN, A.H., & ABU, A., “Structural Design for Fire Safety”, New York: Wiley Publishing, 2001.
[2] SUN, Q., & TURKAN, Y., A BIM-Based Simulation Framework for Fire Safety Management and Investigation of the Critical Factors Affecting Human Evacuation Performance, Advanced Engineering Informatics, 44, 101093, 2020.
[3] Center for Fire Statistics of CTIF. World Fire Statistics: Report No. 31. International Association of Fire and Rescue Services (CTIF), 2026.
[4] U.S. Fire Statistics, Fire Risk in 2022, Topical Fire Report Series. U.S. Fire Administration, https://www.usfa.fema.gov/statistics/ (Last Accessed 2026/7/22).
[5] YEMELYANENKO, S., KOVAL, R., KUZYK, A., & KOVAL, I., Analysis of Fire Causes and Assessment of Fire Risk (Using the Example of Hotels), Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B, Natural, Exact, and Applied Sciences, 79, 5-6, 302-310, 2025.
[6] HASSANAIN, M.A., Approaches to Qualitative Fire Safety Risk Assessment in Hotel Facilities, Structural Survey, 27, 4, 287-300, 2009.
[7] WOOLLEY, R.B., Atlanta’s Hotel Winecoff Fire Worst in Nation’s History, Fire Engineering, 100, 1, 18-27, 1947.
[8] BEST, R., & DEMERS, D.P., Investigation Report on the MGM Grand Hotel Fire, Las Vegas, Nevada, November, 21, 1980, NFPA, 1982.
[9] DEMİRÖZ YILDIRIM, S., & BÜLBÜL, F., Afet ve Turizm: Bolu Kartalkaya Otel Yangınının Ekonomik ve Sosyal Etkileri, Academic Perspective Procedia, 6, 1, 185-193, 2025.
[10] TAVARES, R.M., Evacuation Processes Versus Evacuation Models: “Quo Vadimus”? Fire Technology, 45, 419-430, 2008.

[11] GERNAY, T., Performance-Based Design for Structures in Fire: Advances, Challenges, and Perspectives, Fire Safety Journal, 142, 104036, 2024.
[12] BASDEMIR, H., & DEMIREL, F., Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması, Politeknik Dergisi, 13, 2, 101-109, 2011.
[13] WEHBE, R., & SHAHROUR, I., A BIM-Based Smart System for Fire Evacuation, Future Internet, 13, 9, 2021.
[14] YAKHOU, N., THOMPSON, P., SIDDIQUI, A., ABUALDENIEN, J., & RONCHI, E., The Integration of Building Information Modelling and Fire Evacuation Models, Journal of Building Engineering, 63, 105557, 2023.
[15] SHAHARUDDIN, S., MAULUD, K.N.A., RAHMAN, S.A.F.S.A., ANI, A.I.C., & PRADHAN, B., The Role of IoT Sensor in Smart Building Context for Indoor Fire Hazard Scenario: A Systematic Review of Interdisciplinary Articles, Internet of Things, 22, 100803, 2023.
[16] BYKHY, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", Ankara, Türkiye: İçişleri Bakanlığı, 2007.
[17] ISMAIL, A.S., ALI, K.N., IAHAD, N.A., KASSEM, M.A., & AL-ASHWAL, N.T., BIM-Based Automated Code Compliance Checking System in Malaysian Fire Safety Regulations: A User-Friendly Approach, Buildings, 13, 6, 1404, 2023.
[18] KINCELOVA, K., BOTON, C., BLANCHET, P., & DAGENAIS, C. Fire Safety in Tall Timber Building: A BIM-Based Automated Code-Checking Approach, Buildings, 10, 7, 121, 2020.
[19] PORTO, M.F., FRANCO, J.R.Q., VIANNA, B.F., PORTO, R.M.A.B., Automatic Code Checking Applied to Fire Fighting and Panic Projects in A BIM Environment-BIMSCIP, IMCIC 2017 - 8th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, 15, 353-357, 2017.

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

Muammer YAMAN
Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini Gazi Üniversitesi'nde almıştır. Yaman'ın araştırmaları yangın güvenliği mühendisliği, cephe yangınları, yangın tahliye stratejileri, mimari akustik, hacim akustiği, endüstriyel akustik ve çevresel gürültü kontrolü olmak üzere yapı fiziği üzerine yoğunlaşmıştır. Şu anda Samsun'da Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde akademik çalışmalarını sürdürmektedir. Yapı teknolojileri, yapı fiziği, yangın güvenliği ve mimari akustik alanlarında çok sayıda ulusal ve uluslararası bilimsel yayına imza atmış, ilgili konularda dersler, seminler, eğitimler vermiş ve çeşitli ulusal ve uluslararası dergilerde hakemlikler yapmıştır.
muammer.yaman@omu.edu.tr

Miraç Muhammed KARACA
Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olmuştur. Mesleki çalışmalarını Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), cephe sistemleri, dijital tasarım teknolojileri ve yapı üretim süreçleri üzerine sürdürmektedir. Kariyeri boyunca mimari tasarım, endüstriyel tesis projeleri ve uluslararası ölçekli yapılarda görev almıştır. Trützschler Group bünyesinde tekstil fabrikaları ve makine yerleşim projelerinde süreç yönetimi ve malzeme tedarik süreçlerinde görev almış; daha sonra farklı mimarlık ofislerinde uygulama projeleri, proje koordinasyonu ve tasarım geliştirme çalışmalarına katkı sağlamıştır. Hâlen, Zaha Hadid Architects tarafından tasarlanan Irak Merkez Bankası projesinde BIM Architect olarak görev yapmakta; BIM koordinasyonu, model yönetimi, kalite kontrol, çakışma analizleri, model doğrulama, disiplinler arası koordinasyon ve cephe uygulama süreçleri üzerine çalışmalarını sürdürmektedir.

MİMARİ FORM VE YANGIN GÜVENLİĞİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ: GÖRÜNMEZ YANGIN VE DUMAN PERDELERİ ARACILIĞIYLA AÇIK PLAN KURGUSUNUN YENİDEN YORUMLANMASI

Meryem Turan
Kayhan Turan
David John Millington

ÖZET

Çağdaş mimarlıkta **Açık plan mimarisi**, esneklik, şeffaflık, görsel süreklilik ve kullanıcı odaklı mekânlar sunması nedeniyle yaygınlaşırken, bu yaklaşım yangın ve dumanın geniş ve kesintisiz hacimlerde hızlı yayılması açısından önemli güvenlik sorunları yaratmaktadır. Geleneksel sabit bölmeler mimari açıklığı ve mekânsal esnekliği sınırlandırdığından, **Yangın ve duman perdeleri** alternatif ve uyarlanabilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Normal kullanım sırasında tavanda gizlenen ve yangın durumunda otomatik olarak devreye giren bu sistemler, gerekli **Yangın bölmelendirmesi** ve duman kontrolünü sağlayarak açık mekânların mimari ve işlevsel özelliklerini korumaktadır.

Bu sistemlerin etkili kullanımı, yalnızca teknik performansa değil, aynı zamanda **Pasif yangın koruması** yaklaşımının mimari tasarımın erken aşamalarına dâhil edilmesine bağlıdır. Yangına dayanım, duman kontrolü, güvenilirlik, bakım ve bağımsız sertifikasyon gibi kriterlerin yanı sıra mimarlar, mühendisler, üreticiler ve yükleniciler arasındaki disiplinler arası koordinasyon büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda BIM ve akıllı bina teknolojileri, sistemlerin tasarım, uygulama ve bakım süreçlerini desteklemektedir. Sonuç olarak **Mimari bütünleşme**, yangın güvenliğini tasarımın önünde bir kısıt olmaktan çıkararak güvenli, esnek, işlevsel ve estetik açıdan bütüncül yapıların oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açık plan mimarisi, Yangın ve duman perdeleri, Yangın bölmelendirmesi, Pasif yangın koruması, Mimari bütünleşme.

INTEGRATION OF ARCHITECTURAL FORM AND FIRE SAFETY: REINTERPRETING OPEN PLAN THROUGH INVISIBLE FIRE AND SMOKE CURTAINS

ABSTRACT

In contemporary architecture, **Open plan architecture** has become increasingly widespread due to its flexibility, transparency, visual continuity, and user-centered spaces. However, this approach creates significant safety challenges, particularly because fire and smoke can spread rapidly through large, uninterrupted volumes. Since traditional fixed partitions can limit architectural openness and spatial flexibility, **Fire and smoke curtains** have emerged as an alternative and adaptable solution. These systems remain concealed within the ceiling during normal operation and automatically deploy in the event of a fire, providing the required **Fire compartmentation** and smoke control while preserving the architectural and functional qualities of open spaces.

The effective use of these systems depends not only on their technical performance but also on integrating **Passive fire protection** principles into the early stages of architectural design. In addition to criteria such

as fire resistance, smoke control, reliability, maintenance, and independent certification, interdisciplinary coordination among architects, engineers, manufacturers, and contractors is of great importance. In this context, BIM and smart building technologies support the design, installation, and maintenance processes of these systems. Ultimately, **Architectural integration** makes it possible to move fire safety from being a constraint on design to becoming an integral part of creating buildings that are safe, flexible, functional, and aesthetically coherent.

Keywords: Open-plan architecture, Fire and smoke curtains, Fire compartmentation, Passive fire protection, Architectural integration.

1. GİRİŞ

Taşıyıcı iskelet sistemlerinin gelişimi, geleneksel taşıyıcı duvarların yerini esnek taşıyıcı çerçeve sistemlerine bırakmasıyla mimari tasarım anlayışını köklü biçimde dönüştürmüştür. Bu gelişme, mimarlara mekânsal organizasyonda daha fazla özgürlük sağlayan açık planlı mekânlar tasarlama olanağı sunarken, aynı zamanda görsel sürekliliği ve kullanıcı etkileşimini güçlendirmiştir.

Günümüzde açık plan yerleşimler; havalimanları, ulaşım terminalleri, alışveriş merkezleri, fuar ve sergi yapıları, kültür yapıları, ticari kompleksler ve karma kullanımlı projelerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu tür mekânlar şeffaflığı, erişilebilirliği, esnekliği ve kesintisiz görsel ilişkileri ön planda tutmaktadır. Bununla birlikte, mekânsal kaliteyi artıran bu özellikler, acil durumlarda yangın ve dumanın hızla yayılmasına da zemin hazırlayarak yaşam güvenliği açısından önemli riskler oluşturabilmektedir.

Bu riskleri azaltmak amacıyla güncel yangın güvenliği yönetmelikleri, yapıların yangın bölmeleri ve duman kontrol bölgelerine ayrılmasını zorunlu kılmaktadır. Geleneksel olarak bu hedeflere, yangına dayanıklı duvarlar, kapılar ve sabit bariyerler aracılığıyla ulaşılmaktadır. Her ne kadar bu çözümler yangın ve dumanın yayılımını sınırlandırmada son derece etkili olsa da, çoğu zaman çağdaş mimarlığın temel ilkeleri olan açıklık, esneklik ve görsel süreklilik ile çelişmektedir.

Pasif yangın koruma teknolojilerindeki son gelişmeler, normal kullanım sırasında tamamen gizli kalan ve yangın algılama sistemi tarafından etkinleştirildiğinde otomatik olarak devreye giren görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Bölmelendirmeyi yalnızca gerekli olduğunda sağlayan bu sistemler, mimari özgürlük ile yaşam güvenliği gerekliliklerini başarıyla bir araya getirerek mimarların açık plan tasarım anlayışını yürürlükteki yangın güvenliği düzenlemelerinden ödün vermeden sürdürebilmelerine olanak tanımaktadır.

Bu çalışma, görünmez yangın ve duman perde sistemlerini yalnızca bir yangın koruma ürünü olarak değil, aynı zamanda mimari tasarımın ayrılmaz bir parçası olan bir tasarım stratejisi olarak ele almaktadır. Çalışmada bu sistemlerin yangın bölmelendirmesine katkıları değerlendirilmekte, çağdaş yapı tasarımına entegrasyonları incelenmekte ve sertifikalandırılmış sistemlerin uzun dönem güvenilirlik, mevzuata uygunluk ve kullanıcı güvenliği açısından taşıdığı önem vurgulanmaktadır.

2. BÜYÜK HACİMLERDE YANGIN VE DUMANIN YAYILIMI

Açık planlı mimari tasarımlar, mekânsal esneklik, gelişmiş dolaşım organizasyonu ve güçlendirilmiş görsel bağlantılar gibi birçok işlevsel ve estetik avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte, aynı özellikler acil durumlarda yangın ve dumanın hızla yayılmasını kolaylaştırabilecek koşullar da oluşturabilmektedir. Özellikle atriumlar, birbirine bağlı katlar, dekoratif merdivenler, düşey şaftlar ve geniş tavan boşlukları içeren büyük ve kesintisiz hacimler, dumanın hem yatay hem de düşey doğrultuda hareketini önemli ölçüde hızlandırabilmektedir.

Duman, yapı yangınları sırasında ortaya çıkan en büyük tehlikelerden biri olup, yangına bağlı yaralanma ve can kayıplarının büyük bölümünden sorumludur. Görüş mesafesini azaltmasının ve kaçış yollarını engellemesinin yanı sıra, içerdiği toksik gazlar ve yüksek sıcaklıktaki yanma ürünleri kısa sürede yaşamı tehdit eden koşullar oluşturabilmektedir. Dumanın yapı içerisinde birikmesi, itfaiye ekiplerinin müdahalesini

zorlaştırmakta, tahliye süreçlerinin etkinliğini azaltmakta ve yüksek sıcaklıklara bağlı yapısal hasar riskini artırmaktadır.

Bu risklerin kontrol altına alınabilmesi amacıyla modern yangın güvenliği mühendisliği, hem yangının gelişiminin hem de duman hareketinin kontrol edilmesini temel bir tasarım kriteri olarak kabul etmektedir. Bu nedenle yapı yönetmelikleri, büyük hacimlerin yangın bölmelerine ve duman haznelerine ayrılmasını zorunlu kılmakta; böylece ısı ve yanma ürünlerinin yayılımı sınırlandırılırken tahliye süresince kullanıcılar için güvenli koşulların korunması amaçlanmaktadır. Etkin bir bölmelendirme sistemi aynı zamanda yangının daha küçük alanlarla sınırlandırılmasını sağlayarak acil durum ekiplerinin müdahalesini kolaylaştırmakta ve ani yangın gelişimi (flashover) ile kontrolsüz yangın yayılımı olasılığını azaltmaktadır.

Havalimanları, alışveriş merkezleri, fuar ve sergi yapıları, ulaşım terminalleri ve karma kullanımlı projeler gibi çağdaş kamu yapılarında etkili duman kontrolünün sağlanması önemli bir tasarım problemi oluşturmaktadır. Bu yapıların büyük çoğunluğu, kullanıcı deneyimini iyileştirmek amacıyla açık mekânsal organizasyon anlayışını benimsemektedir. Dolayısıyla mimarlar ve yangın mühendisleri, yaşam güvenliği gerekliliklerini karşılayan, aynı zamanda mimari tasarımın açıklığını, esnekliğini ve mekânsal bütünlüğünü koruyan entegre çözümler geliştirmek durumundadır.

3. GELENEKSEL BÖLMELENDİRME YAKLAŞIMLARI

Geleneksel yangın bölmelendirme stratejileri, yangın ve dumanın yapı içerisinde yayılımını sınırlandırmak amacıyla öncelikli olarak kalıcı yangına dayanıklı duvarlar, yangına dayanımlı kapılar, bölme elemanları, yangına dayanıklı cam sistemleri ve yapısal bariyerlere dayanmaktadır. Bu pasif yangın koruma elemanları, belirli yangına dayanım süreleri boyunca yangın bölmesinin bütünlüğünü koruyacak şekilde tasarlanmakta; böylece kullanıcıların güvenli tahliyesi için yeterli süre sağlanırken acil durum ekiplerinin yangına daha etkin müdahale edebilmesine de olanak tanımaktadır.

Geleneksel bölmelendirme sistemleri yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olmalarına ve yangın güvenliği tasarımının temel bileşenleri arasında yer almalarına rağmen, çağdaş açık planlı yapıların mimari hedefleriyle zaman zaman çelişebilmektedir. Kalıcı bariyerler görsel sürekliliği kesintiye uğratmakta, mekânsal esnekliği azaltmakta ve iç mekânların gelecekte farklı kullanım senaryolarına uyarlanmasını sınırlandırmaktadır. Ayrıca birçok projede bu elemanlar, yapı planında ilerleyen dönemlerde yapılacak değişiklikleri zorlaştırarak renovasyon süreçlerini daha karmaşık ve maliyetli hâle getirmektedir.

Bunun yanı sıra, sabit yangına dayanıklı duvar ve kapıların uygulanması, özellikle geniş açıklıklara veya çok işlevli mekânlara sahip yapılarda inşaat sürecinin karmaşıklığını artırabilmekte ve ilave yapısal destek gerektirebilmektedir. Mimari tasarım anlayışının giderek daha fazla şeffaflık, açıklık ve kullanıcı odaklı mekânlara yöneldiği günümüzde, temel tasarım problemi; mimari kaliteden ödün vermeden yangın güvenliği yönetmeliklerine tam uyum sağlayabilmektir.

Bu sınırlamalar, normal kullanım sırasında görsel bütünlüğü bozmadan eşdeğer düzeyde yangın koruması sağlayabilen alternatif bölmelendirme çözümlerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Bu yenilikçi çözümler arasında görünmez yangın ve duman perde sistemleri, mimari esneklik ile mevzuata uygunluğu bir araya getiren etkili bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Tavan sistemi içerisinde gizli kalmaları ve yalnızca yangın sırasında otomatik olarak devreye girmeleri sayesinde bu sistemler, gerekli olduğunda etkin yangın bölmelendirmesi sağlarken tasarlanan mekânsal deneyimi ve mimari bütünlüğü korumaktadır.

4. GÖRÜNMEZ YANGIN VE DUMAN PERDE TEKNOLOJİSİ

Sistem Tanımı

Görünmez yangın ve duman perdeleri, yangın acil durumlarında geçici bölmelendirme sağlamak üzere geliştirilmiş, normal kullanım sırasında ise tamamen gizli kalan hareketli pasif yangın koruma sistemleridir. Geleneksel yangına dayanıklı duvarlar veya sabit bariyerlerden farklı olarak bu sistemler, tavan sistemleri ya da mimari kasalar içerisine entegre edilmekte ve böylece tasarımcıların kesintisiz görsel sürekliliği korurken iç mekânların açıklığını muhafaza etmelerine olanak sağlamaktadır.

Normal işletme koşullarında perde, tavan tasarımına özenle entegre edilmiş kompakt bir muhafaza içerisinde gizli kalmakta ve bina kullanıcıları tarafından neredeyse fark edilmemektedir. Bina yangın algılama ve alarm sisteminden gelen bir sinyal ile birlikte perde, kontrollü bir şekilde aşağı doğru hareket ederek yangına ve dumana dayanıklı bir bariyer oluşturmaktadır. Bu otomatik çalışma prensibi, büyük hacimlerde yalnızca ihtiyaç duyulduğu anda bölmelendirme yapılmasını sağlayarak sistemin günlük kullanım sürecinde mimari çevre üzerindeki görsel ve işlevsel etkisini en aza indirmektedir.
Tasarım gereksinimlerine bağlı olarak görünmez perde sistemleri yalnızca duman kontrolü, yalnızca yangın bölmelendirmesi veya her iki işlevi birlikte yerine getirecek şekilde yapılandırılabilmektedir. Günümüzde bu sistemler; Otomatik yangın perdeleri (AUTOMATIC FIRE CURTAIN), yatay perdeler (HORIZONTAL CURTAIN), akordeon tip perde sistemleri (Accordion Fire Curtain), acil kaçış perdesi (EGRESS CURTAIN), otomatik duman perdesi (Automatic Smoke Curtain) ve sabit duman perdesi (Static Draft Curtain) gibi farklı uygulama seçenekleriyle üretilmektedir. Bu çeşitlilik, tasarımcıların farklı mimari çözümlere uyum sağlayabilmesine olanak tanırken yürürlükteki yangın güvenliği yönetmeliklerinin gerekliliklerini de karşılamaktadır.
Görünmez perde sistemlerinin çağdaş mimariye entegrasyonu, pasif yangın korumasının bağımsız bir teknik gereklilik olmaktan çıkarak tasarım sürecinin ayrılmaz bir bileşeni hâline gelebileceğini göstermektedir. Bölmelendirmenin yalnızca acil durumlarda gerçekleştirilmesini sağlayan bu sistemler, mimari estetik ile yaşam güvenliği hedeflerini başarıyla bir araya getirerek açıklık, esneklik ve şeffaflığın temel tasarım ilkeleri olduğu yapılarda etkili bir çözüm sunmaktadır.

5. UYGULAMA ESNEKLİĞİ

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin en önemli avantajlarından biri, farklı mimari koşullara yüksek düzeyde uyum sağlayabilmeleridir. Kalıcı yapısal müdahaleler gerektiren geleneksel bölmelendirme yöntemlerinden farklı olarak bu sistemler; karmaşık geometrilere, geniş açıklıklara ve özgün mimari özelliklere sahip yapılara, genel tasarım anlayışını bozmadan uyarlanabilmektedir.
Yangın koruma teknolojilerindeki gelişmeler, farklı işlevsel ve mimari gereksinimlere cevap verebilen çok sayıda perde sisteminin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Uygulanacak sistemin seçimi; yapının kullanım amacı, yangın güvenliği stratejisi, mekânsal organizasyonu, yapısal kısıtlar ve işverenin performans beklentileri gibi çeşitli kriterlere bağlıdır. Böylece tasarımcılar, her projeye özgü yangın güvenliği hedeflerini karşılarken mimari bütünlüğü de koruyabilecek çözümler geliştirebilmektedir.
Çağdaş yangın ve duman perde sistemleri; atriumlar, alışveriş merkezleri, havalimanları, oteller, hastaneler, ulaşım terminalleri, ofis yapıları, fuar ve sergi alanları ile karma kullanımlı projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler; asansör holleri, yürüyen merdiven boşlukları, atrium açıklıkları, koridorlar, sahne açıklıkları, geniş cam cepheler ve geleneksel yangına dayanıklı duvarların mimari tasarımı olumsuz etkileyeceği diğer alanlarda uygulanabilmektedir.
Bunun yanı sıra, modern perde sistemleri farklı boyutlarda, geometrilerde ve açılma mekanizmalarında üretilebilmekte; böylece zorlu mimari koşullara uyum sağlayabilmektedir. Geniş açık hacimlerin, düzensiz plan şemalarının veya karmaşık dolaşım alanlarının korunmasında bu sistemler, yaşam güvenliği gerekliliklerini ile çağdaş mimari tasarım anlayışı arasında denge kurabilen esnek çözümler sunmaktadır.
Bu yönüyle görünmez perde teknolojisi, yalnızca özel bir yangın koruma ürünü olmanın ötesine geçmiş ve kapsamlı bir mimari tasarım aracına dönüşmüştür. İşlevsel ve estetik gereksinimlere proje özelinde cevap verebilen bu sistemler, modern yangın güvenliği standartlarına tam uyum sağlarken mimarlara daha geniş bir tasarım özgürlüğü sunmaktadır.

6. PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

Yangın ve duman perde sistemlerinin performansı; yangına dayanım süresi (integrity duration **E**), radyasyon performansı (radiation performance **W**) ,Yalıtım performansı (Insulation Performance **I**) gibi çeşitli kritik ölçütlere göre değerlendirilmektedir. Bu performans özellikleri, sistemin acil durumlarda yangın ve dumanın yayılımını ne ölçüde sınırlandırabildiğini ve güvenli tahliye koşullarını ne derece sürdürebildiğini belirlemektedir.

Yangına dayanım, sistem performansının en temel göstergelerinden biri olup, sistemin yüksek sıcaklıklara belirli bir süre boyunca maruz kaldığında bütünlüğünü (**E**) koruyabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bununla birlikte, duman kontrol performansı da en az yangına dayanım kadar önem taşımaktadır. Çünkü yangın sırasında meydana gelen yaralanma ve can kayıplarının büyük çoğunluğu, görüş mesafesinin azalması, toksik gazların yayılması ve yüksek sıcaklıkların etkisiyle oluşmaktadır. Bu nedenle etkin duman kontrolü, kullanıcıların korunması ve güvenli tahliye sürecinin desteklenmesi açısından temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir.

Operasyonel güvenilirlik, değerlendirilmesi gereken bir diğer önemli performans kriteridir. Yangın ve duman perde sistemlerinin, bina yangın algılama ve alarm sistemi tarafından etkinleştirildiğinde otomatik, güvenilir ve tutarlı bir şekilde devreye girmesi gerekmektedir. Güvenilir açılma mekanizmaları ile düzenli bakım ve periyodik kontrollerin birlikte yürütülmesi, sistemin kullanım ömrü boyunca tasarlandığı performansı sürdürebilmesini sağlamaktadır.

Yapısal açıdan değerlendirildiğinde, hafif perde sistemleri geleneksel yangına dayanıklı bariyerlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Düşük ağırlıkları sayesinde taşıyıcı sistem üzerindeki ilave yükleri azaltmakta, montaj sürecini kolaylaştırmakta ve asma tavan sistemleri ile karmaşık mimari çözümlere entegrasyonu kolaylaştırmaktadır. Bu özellikler, görünmez perde sistemlerini özellikle geniş açıklıklara sahip yapılar, atriumlar, ulaşım yapıları, alışveriş merkezleri ve mimari esnekliğin korunmasının öncelikli olduğu diğer açık planlı projeler için uygun bir çözüm hâline getirmektedir.

Dolayısıyla yangın ve duman perde sistemlerinin performansı yalnızca yangına dayanım süreleri açısından değil; operasyonel güvenilirlikleri, mimari tasarımla uyumlulukları, montaj kolaylıkları ve uzun dönem bakım gereksinimleri bakımından da değerlendirilmelidir. Bu ölçütlerin tümü birlikte ele alındığında, sistemlerin kapsamlı bir yangın güvenliği stratejisinin ayrılmaz bir bileşeni olarak ne derece etkin olduğu belirlenebilmektedir.

7. SERTİFİKASYONUN ÖNEMİ

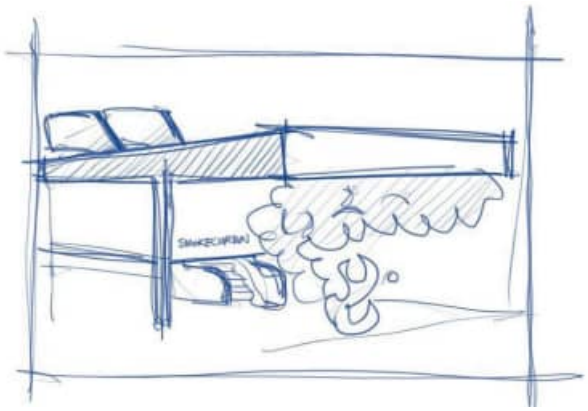
Yangın ve duman perde sistemlerinin büyük ölçekli kamu yapılarında giderek daha yaygın biçimde kullanılması, sertifikasyonun ve bağımsız üçüncü taraf doğrulamasının önemini daha da artırmıştır. Yangın deneyleri bir sistemin kontrollü laboratuvar koşullarındaki performansını ortaya koyarken, sertifikasyon ürünün güvenilirliği, üretim sürekliliği ve uluslararası kabul görmüş standartlara sürekli uygunluğu konusunda çok daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

Yangın deneyleri, önceden tanımlanmış deney koşulları altında tek bir numunenin performansını değerlendirmektedir. Bu testler, ürünün deney anındaki performansını ortaya koysa da, üretilen tüm sistemlerin gerçek uygulamalarda aynı performansı göstereceğini tek başına garanti etmemektedir. Sertifikasyon ise laboratuvar testlerinin ötesine geçerek sürekli kalite kontrol süreçlerini, fabrika üretim denetimlerini, periyodik bağımsız denetimleri ve yürürlükteki standartlara uygunluğun sürekli doğrulanmasını kapsamaktadır. Bu sayede sertifikasyon; mimarlar, yangın mühendisleri, danışmanlar, yükleniciler ve yapı sahiplerine, kurulan sistemlerin uzun dönem performansı ve üretim tutarlılığı konusunda daha yüksek düzeyde güven sağlamaktadır.

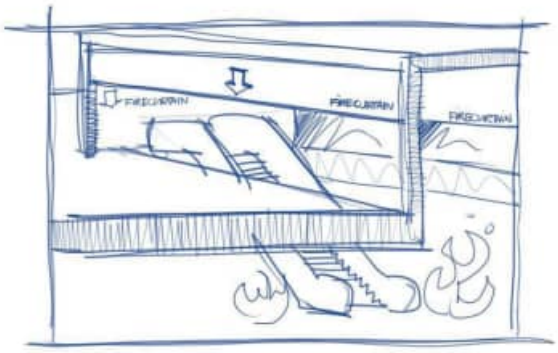
Performansa dayalı yangın güvenliği tasarımında sertifikasyon, uygulanan ürünlerin uluslararası kabul görmüş test ve belgelendirme kuruluşları tarafından değerlendirilen ve onaylanan sistemlerle birebir uyumlu olduğunu göstermek açısından temel bir rol üstlenmektedir. Bu durum özellikle havalimanları, ulaşım terminalleri, alışveriş merkezleri, hastaneler, fuar ve sergi yapıları ile kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu diğer yapılarda büyük önem taşımaktadır. Bu tür yapılarda sistemlerin güvenilirliği, can ve mal güvenliğinin sağlanması açısından kritik bir gerekliliktir.

Bu nedenle sertifikasyon yalnızca idari bir zorunluluk olarak değil, kapsamlı bir yangın güvenliği stratejisinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmelidir. Bağımsız sertifikasyon; ürünlerin üretim ve uygulama süreçleri boyunca gerekli performans kriterlerini karşılamaya devam etmesini sağlayarak ürün farklılıkları veya standartlara uygunsuzluklardan kaynaklanabilecek olası risklerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.

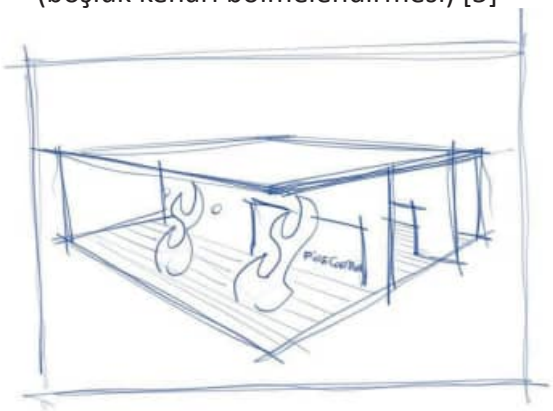
Sonuç olarak, bir yangın deneyi ürünün belirlenmiş laboratuvar koşulları altındaki performansını ortaya koyarken, sertifikasyon üretim süreçlerinin, ürün kalitesinin ve mevzuata uygunluğun sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca aynı düzeyde sürdürüldüğüne ilişkin sürekli güvence sağlamaktadır. **(Fire Resistance – BSEN 1634-1, UL10D, Smoke Leakage – BS EN 1634-3, UL 1784)**



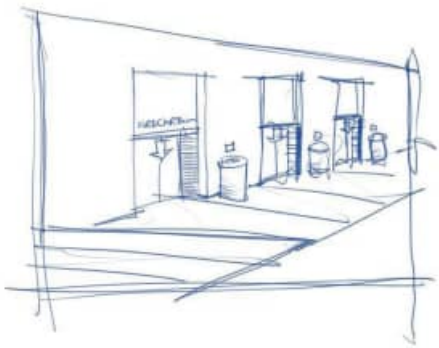
Şekil 1. Yangın perdesi uygulaması (boşluk kenarı bölmelendirmesi) [5]



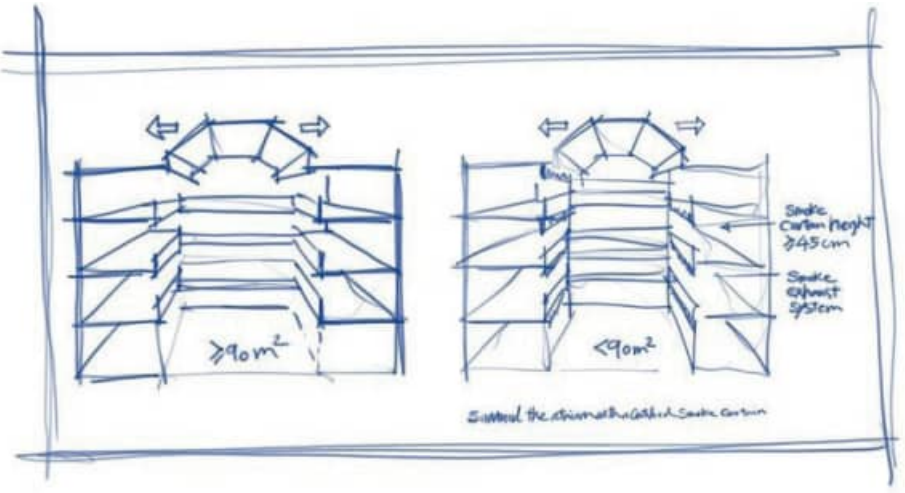
Şekil 2. Duman perdesi uygulaması (duman hazneleri) [5]



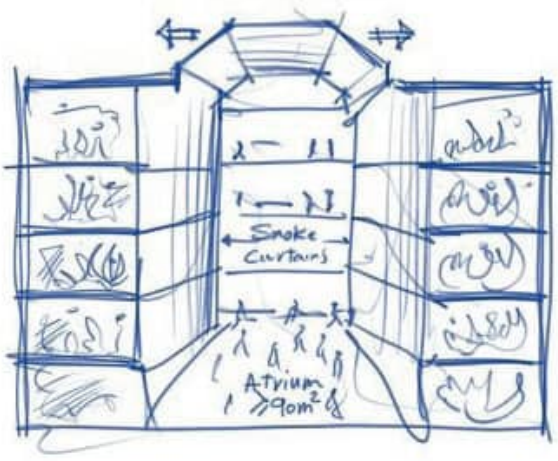
Şekil 3. Yangın perdesi uygulaması (asansör holü ve asansör ayrımı) [5]



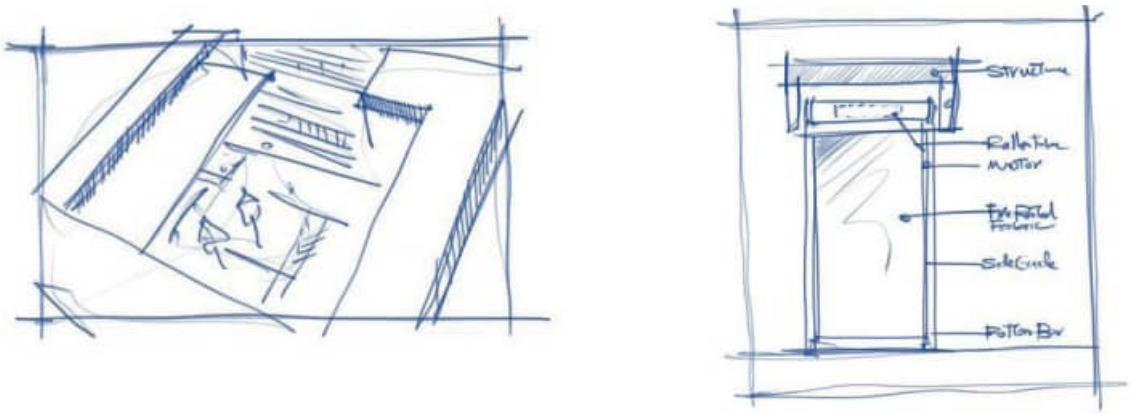
Şekil 4. Yangın perdesi uygulaması (yangın bölmelendirmesi) [5]



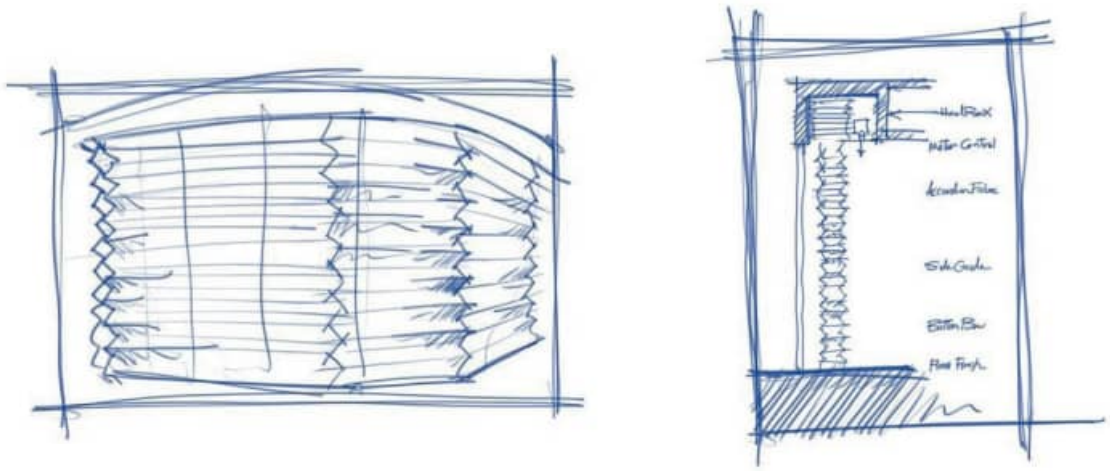
Şekil 24.5. Atriumlu yapılarda yangın güvenliği önlemleri [1].



Şekil 5. Yangın sırasında duman ve yangın perdelerinin davranışı.



Şekil 6. Yangın sırasında yatay duman ve yangın perdesi sisteminin çalışma prensibi.



Şekil 7. Yangın sırasında akordeon tip yangın perdesi sisteminin çalışma prensibi.

8. YANGIN VE DUMAN PERDE SİSTEMLERİNİN MİMARİ TASARIMA ENTEGRASYONU

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, yalnızca teknik performanslarına değil, aynı zamanda proje geliştirme sürecinin en erken aşamalarından itibaren mimari tasarım sürecine entegre edilmelerine de bağlıdır. Bu sistemler, mimari konsept oluşturulduktan sonra eklenen ilave bir yangın koruma önlemi olarak değil, tasarım stratejisinin ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir. Erken aşamada sağlanan disiplinler arası koordinasyon; mimarların, yangın mühendislerinin, statik mühendislerinin, mekanik tasarım ekiplerinin ve üreticilerin hem yaşam güvenliği gerekliliklerini hem de mimari hedefleri karşılayan bütünleşik çözümler geliştirmelerine olanak sağlamaktadır.

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin en önemli avantajlarından biri, çağdaş açık plan mimarisinin temel mekânsal niteliklerini koruyabilmesidir. Geleneksel yangına dayanıklı duvarlar ve kalıcı bariyerlerden farklı olarak, gizli perde sistemleri normal kullanım sırasında görünmez durumda kalmakta; böylece kesintisiz görsel ilişkilerin sürdürülmesine ve mekânların esnek biçimde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu özellik, mimarların şeffaflık, açıklık ve süreklilik ilkelerine dayanan tasarım anlayışını korurken yapının yangın güvenliği yönetmeliklerine tam uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır.

Bu sistemlerin mimari tasarıma entegrasyonu, taşıyıcı sistemler ve bina teknik tesisatları ile dikkatli bir koordinasyon gerektirmektedir. Perde muhafazalarının, iç mekânın görsel bütünlüğünü etkilemeyecek şekilde asma tavan sistemleri veya özel olarak tasarlanmış mimari kasalar içerisine yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda perde açıldığında oluşan yüklerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi için yeterli yapısal destek sağlanmalı ve çevresindeki yapı elemanlarının bütünlüğü korunmalıdır. Bunun yanı sıra aydınlatma armatürleri, havalandırma kanalları, sprinkler sistemleri, duman tahliye sistemleri ve tavan bakım kapakları ile koordinasyon sağlanması, farklı bina sistemleri arasında oluşabilecek çakışmaların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), bu disiplinler arası koordinasyonun sağlanmasında etkili bir araç hâline gelmiştir. Üç boyutlu modelleme sayesinde mimarlar ve mühendisler, yangın perde sistemleri ile diğer yapı bileşenleri arasında oluşabilecek çakışmaları inşaat aşamasından önce, tasarım sürecinde tespit edebilmektedir. Ayrıca BIM; perde sistemlerinin açılma hareketlerinin simüle edilmesine, gerekli mekânsal boşlukların doğrulanmasına ve bakım erişimlerinin planlanmasına olanak sağlayarak inşaat sürecindeki gecikmeleri azaltmakta ve montaj doğruluğunu artırmaktadır.

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin sunduğu tasarım esnekliği, çok işlevli yapıların planlanmasında mimarlara önemli avantajlar sağlamaktadır. Havalimanları, alışveriş merkezleri, hastaneler, ulaşım terminalleri, fuar ve sergi yapıları, oteller ve ticari kompleksler; değişen kullanıcı yoğunluklarına ve dolaşım senaryolarına uyum sağlayabilecek geniş ve kesintisiz mekânlara ihtiyaç duymaktadır. Perde sistemleri yalnızca acil durumlarda bölmelendirme sağlayarak bu yapıların mimari karakterini korumasına olanak tanırken, aynı zamanda güncel yangın güvenliği yönetmeliklerinin operasyonel gerekliliklerini de karşılamaktadır.

Mimari entegrasyonun bir diğer önemli boyutu ise bu sistemlerin sürdürülebilir yapı tasarımına sağladığı katkıdır. Görünmez perde sistemleri, çok sayıda kalıcı yangına dayanıklı bölme elemanına duyulan ihtiyacı azaltarak iç mekânların daha esnek biçimde düzenlenmesine ve gelecekte gerçekleştirilecek renovasyon çalışmalarının büyük yapısal müdahaleler gerektirmeden uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Esnek mekânsal planlama yaklaşımı, yapıların değişen kullanıcı ihtiyaçlarına daha kolay uyum göstermesini sağlayarak işlevsel kullanım ömrünü uzatmakta, yıkım kaynaklı atıkları azaltmakta ve uzun vadede yapıların sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

Sonuç olarak, görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin mimari tasarıma başarılı biçimde entegre edilmesi, yangın güvenliği ile mimari tasarımın birbirine rakip iki unsur olarak değil, güvenli, işlevsel ve görsel açıdan bütüncül yapılar üretmek amacıyla birlikte çalışan tamamlayıcı disiplinler olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Tasarım sürecinin erken aşamalarında tüm disiplinlerle koordinasyon içinde planlanan görünmez perde sistemleri, mimarların çağdaş mimarlığın açıklık ve esneklik ilkelerini korumasına olanak sağlarken, yangın güvenliği gerekliliklerine tam uyumun da sağlanmasına katkıda bulunmaktadır.

9. TASARIM ZORLUKLARI VE GELECEKTEKİ GELİŞMELER

Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, mimari tasarım ve yangın güvenliği açısından önemli avantajlar sunmasına rağmen, bu sistemlerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi; tasarım, yapım ve işletme süreçlerinin tamamında dikkatli planlama ve disiplinler arası koordinasyon gerektirmektedir. Yapı formlarının giderek daha karmaşık hâle gelmesi ve mimari beklentilerin sürekli gelişmesiyle birlikte, tasarımcıların bu sistemlerin beklenen performansı sağlayabilmesi için çeşitli teknik ve uygulamaya yönelik zorlukları dikkate almaları gerekmektedir.

Temel tasarım zorluklarından biri, perde muhafazalarının mimari tavan sistemlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesidir. Perde mekanizmasının yerleştirilebilmesi için yeterli hacim ayrılması gerekirken, aynı zamanda iç mekânın görsel bütünlüğünün korunması da sağlanmalıdır. Tavan boşluğunun sınırlı olduğu veya taşıyıcı yapı elemanlarının açıkta bırakıldığı projelerde, bu entegrasyonun sağlanabilmesi özel mimari detaylar ya da alternatif montaj çözümleri gerektirebilmektedir. Bu nedenle mimarlar, statik mühendisleri ve yangın güvenliği uzmanları arasında erken aşamada sağlanacak koordinasyon, uygulama sürecinde ortaya çıkabilecek olası çakışmaların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Yapısal gereklilikler de görünmez perde sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Her ne kadar perde sistemleri geleneksel yangına dayanıklı duvarlara kıyasla çok daha hafif olsa da, acil durumlarda güvenli ve kararlı bir şekilde açılabilmeleri için uygun taşıyıcı desteklere ihtiyaç duymaktadır. Taşıyıcı sistemin, hem perde açıldığında oluşan operasyonel yükleri hem de yürürlükteki yangın güvenliği standartlarının öngördüğü uzun dönem performans gerekliliklerini karşılayabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Bina teknik tesisatları ile sağlanacak koordinasyon da sistem entegrasyonunun önemli unsurlarından biridir. Mekanik havalandırma kanalları, elektrik tesisatı, aydınlatma armatürleri, sprinkler borulama sistemleri, duman tahliye ekipmanları ve tavan bakım kapakları, çoğu zaman görünmez perde muhafazalarının yerleştirileceği aynı tavan boşluğunu paylaşmaktadır. Disiplinler arası koordinasyonun yeterli düzeyde sağlanamaması durumunda bu sistemler, perde mekanizmasının açılmasını engelleyebilir ve yangın sırasında sistem performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), olası çakışmaların tasarım aşamasında belirlenmesine ve inşa sürecinden önce çözümlenmesine olanak sağlayan etkili bir koordinasyon aracı olarak öne çıkmaktadır.

Bakım ve periyodik kontrol gereklilikleri de tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Yangın ve duman perde sistemleri normal kullanım sırasında gizli kaldığından, düzenli muayene, test, bakım ve gerektiğinde bileşenlerin değiştirilmesine olanak sağlayacak yeterli erişim noktalarının tasarım aşamasında planlanması gerekmektedir. Düzenli bakım faaliyetleri, sistemlerin yapının kullanım ömrü boyunca güvenilir biçimde çalışmasını sağlamakta ve yürürlükteki yangın güvenliği yönetmeliklerine uygunluğun sürdürülmesine katkıda bulunmaktadır.

Ekonomik faktörler de bölmelendirme stratejisinin seçiminde etkili olabilmektedir. Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin ilk yatırım maliyeti bazı geleneksel yangın koruma çözümlerine göre daha yüksek olabilse de, bu sistemler uzun vadede mimari esneklik, daha az yapısal müdahale gereksinimi, uyarlanabilir iç mekân düzenlemeleri ve mekân kullanımının daha verimli hâle gelmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Açık planlı mekânların korunmasına olanak tanımaları, çağdaş kamu yapılarının hem işlevsel hem de ticari değerinin artırılmasına da katkıda bulunmaktadır.

Geleceğe bakıldığında, teknolojik gelişmelerin görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin performansını ve işlevselliğini daha da geliştirmesi beklenmektedir. Yangına dayanıklı kumaşlar, hafif malzemeler, akıllı kontrol sistemleri ve otomatik izleme teknolojileri alanındaki ilerlemeler, bakım gereksinimlerini azaltırken sistem güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin akıllı bina yönetim sistemleriyle entegre edilmesi; sürekli performans izleme, uzaktan arıza teşhisi, kestirimci bakım ve gerçek zamanlı operasyonel geri bildirim gibi olanaklar sunarak hem güvenlik seviyesini hem de işletme verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Bununla birlikte, performansa dayalı yangın mühendisliği yaklaşımlarının ve dijital tasarım yöntemlerinin giderek daha yaygın hâle gelmesi, görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin çağdaş mimarlıktaki rolünü daha da güçlendirecektir. Hesaplamalı yangın modellemeleri, tahliye simülasyonları ve BIM tabanlı

koordinasyon araçları; mimarlar ile yangın mühendislerinin tasarım süreci boyunca sistem performansını değerlendirmelerine ve giderek karmaşıklaşan yapılarda en uygun bölmelendirme stratejilerini geliştirmelerine olanak sağlamaktadır. Bu gelişmeler, yangın güvenliğinin yalnızca son aşamada yerine getirilmesi gereken yasal bir zorunluluk değil, projenin ilk tasarım kararlarından itibaren mimari sürece entegre edilmesi gereken temel bir tasarım ilkesi olduğunu göstermektedir.

Mimarlık pratiği esneklik, sürdürülebilirlik ve kullanıcı odaklı tasarım anlayışını giderek daha fazla benimserken, görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin yenilikçi mimari çözümler ile yaşam güvenliği gereklilikleri arasında denge kurulmasında çok daha önemli bir rol üstlenmesi beklenmektedir. Sürekli araştırma faaliyetleri, teknolojik yenilikler ve mimarlar, mühendisler, üreticiler ile düzenleyici kurumlar arasındaki iş birliği, bu sistemlerin geleceğin dayanıklı, sürdürülebilir ve uyarlanabilir yapılarındaki yerini daha da güçlendirecektir.

10. ÇAĞDAŞ MİMARLIKTA GÖRÜNMEZ YANGIN VE DUMAN PERDELERİNİN ROLÜ

Çağdaş mimarlığın gelişimi, açıklık, esneklik ve kullanıcı odaklı mekânsal tasarım anlayışının giderek daha fazla önem kazanmasıyla şekillenmiştir. Taşıyıcı sistemler, yapı teknolojileri ve yapı malzemeleri alanındaki gelişmeler, mimarların görsel sürekliliği, uyarlanabilirliği ve çok işlevli kullanımı destekleyen geniş ve kesintisiz mekânlar tasarlamalarına olanak sağlamıştır. Bu doğrultuda açık plan yerleşimler; havalimanları, ulaşım terminalleri, alışveriş merkezleri, hastaneler, müzeler, ticari yapılar, kültür yapıları ve karma kullanımlı projelerin ayırt edici özelliklerinden biri hâline gelmiştir. Bu tür yapılar önemli mimari ve işlevsel avantajlar sunmakla birlikte, güncel yangın güvenliği gerekliliklerinin karşılanması açısından da önemli tasarım zorluklarını beraberinde getirmektedir.

Geçmişten günümüze yangın bölmelendirmesi, yangın ve dumanın yayılımını sınırlandırmak amacıyla kalıcı yangına dayanıklı duvarlar, kapılar ve yapısal bariyerler aracılığıyla sağlanmıştır. Bu sistemler pasif yangın korumasının temel bileşenleri olmayı sürdürse de, çoğu zaman mekânsal sürekliliği kesintiye uğratmakta ve çağdaş mimarlığın hedeflediği tasarım esnekliğini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle mimarlar, hem tasarım bütünlüğünü koruyabilecek hem de yangın güvenliği yönetmeliklerine tam uyum sağlayabilecek alternatif çözümler geliştirmeye yönelmiştir.

Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, mimari form ile yangın güvenliği arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlayan önemli teknolojik gelişmelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler yalnızca teknik bir yangın koruma elemanı olarak görev yapmakla kalmamakta, aynı zamanda yangın bölmelendirmesinin mimari tasarımın ayrılmaz bir stratejisine dönüşmesini sağlamaktadır. Normal kullanım sırasında tamamen gizli kalan ve yalnızca acil durumlarda otomatik olarak devreye giren bu sistemler, mimari tasarımın hedeflediği açıklık ve mekânsal sürekliliği korurken yaşam güvenliği gerekliliklerini de eksiksiz biçimde karşılamaktadır.

Bu dönüşüm, mimarlık pratiği açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Yangın güvenliği artık yalnızca tasarımın ilerleyen aşamalarında yerine getirilen yasal bir zorunluluk olarak değil; mekânsal planlamayı, tavan tasarımını, dolaşım organizasyonunu ve yapı sistemlerinin koordinasyonunu projenin ilk aşamalarından itibaren yönlendiren temel bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmektedir. Böyle bütüncül bir yaklaşım; mimarlar, yangın mühendisleri, statik mühendisleri, mekanik tasarım ekipleri, üreticiler ve düzenleyici kurumlar arasındaki iş birliğini güçlendirmekte, daha verimli ve koordineli tasarım çözümlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin mimari değeri yalnızca mevzuata uygunlukla sınırlı değildir. Kesintisiz görsel ilişkileri koruyabilmeleri, iç mekânlarda açıklık algısını güçlendirirken esnek ve çok işlevli mekânsal düzenlemeleri de desteklemektedir. Bu özellik özellikle kullanıcı yoğunluğu zaman içerisinde değişebilen, gelecekte yenileme çalışmalarına ihtiyaç duyabilecek ve farklı kullanım senaryolarına uyum sağlaması beklenen kamu yapıları açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Böylece kapsamlı yapısal müdahalelere gerek kalmaksızın mekânların değişen ihtiyaçlara uyarlanabilmesi mümkün olmaktadır.

Bunun yanı sıra, gizli bölmelendirme sistemlerinin kullanımı sürdürülebilir mimarlık yaklaşımlarını da desteklemektedir. Esnek iç mekân düzenlemelerine sahip yapılar, gelecekte ortaya çıkabilecek işlevsel değ-

şikliklere daha kolay uyum sağlayabilmekte ve böylece kullanım ömürleri boyunca yıkım ve yeniden yapım gereksinimini azaltmaktadır. Kalıcı bölme elemanlarının sayısını en aza indirirken acil durumlarda etkin yangın bölmelendirmesi sağlayan görünmez perde sistemleri, daha uyarlanabilir, kaynakların daha verimli kullanıldığı ve uzun dönem dayanıklılığı yüksek yapıların oluşturulmasına katkıda bulunarak sürdürülebilir tasarım ilkeleriyle uyum göstermektedir.

Mimari açıdan değerlendirildiğinde bu sistemler, iç mekân tasarım kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir. Perdelerin tavan sistemleri içerisinde tamamen gizlenmesi sayesinde mimarlar; malzeme seçiminde, yüzey bitişlerinde, aydınlatma tasarımında ve mekânsal kompozisyonun oluşturulmasında geleneksel yangın bariyerlerinin neden olduğu görsel sınırlamalarla karşılaşmamaktadır. Böylece pasif yangın koruması, yapının günlük kullanımı sırasında neredeyse fark edilmeyen bir tasarım bileşeni hâline gelirken, acil durumlarda gerekli güvenlik işlevini eksiksiz biçimde yerine getirmektedir.

Performansa dayalı yangın mühendisliği yaklaşımının giderek yaygınlaşması da görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin çağdaş mimarlıktaki önemini artırmaktadır. Kural temelli çözümlere yalnızca bağlı kalmak yerine, performansa dayalı tasarım yaklaşımları; yangın modellemeleri, duman hareketi analizleri, tahliye simülasyonları ve hesaplamalı tasarım araçları aracılığıyla yapı davranışının kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım içerisinde görünmez perde sistemleri, geleneksel bölmelendirme yöntemleriyle elde edilmesi güç olan yenilikçi mimari çözümlerin uygulanmasına imkân verirken yangın güvenliği hedeflerinin de başarıyla karşılanmasını desteklemektedir.

Kentlerde büyük atriumlar, birbirine bağlı katlar, çok işlevli mekânlar ve yüksek kullanıcı yoğunluğuna sahip karmaşık kamu yapılarının sayısı arttıkça, bütünleşik yangın koruma çözümlerine duyulan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, mimarlık ile yangın güvenliğinin birbirine rakip değil, birbirini tamamlayan disiplinler olarak birlikte çalışmasını sağlayan etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemlerin başarılı biçimde uygulanması, yaşam güvenliğinin mimari yaratıcılıktan, mekânsal kaliteden veya kullanıcı deneyiminden ödün verilmeden sağlanabileceğini açıkça göstermektedir.

Sonuç olarak görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin önemi yalnızca teknik performanslarıyla sınırlı değildir. Bu sistemler, yangın güvenliğinin tasarım sürecine sonradan eklenen bir zorunluluk olmaktan çıkarılarak mimari tasarımın doğal ve ayrılmaz bir bileşeni hâline geldiği çağdaş tasarım anlayışını temsil etmektedir. Açık planlı mekân anlayışını korurken yangın sırasında etkin bölmelendirme sağlayabilmeleri sayesinde daha güvenli, daha uyarlanabilir ve mimari açıdan daha bütüncül yapıların oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelerin ve mimari uygulamaların ilerlemesiyle birlikte bu sistemlerin çağdaş yapı tasarımının geleceğini şekillendirmede giderek daha önemli bir rol üstlenmesi beklenmektedir.

11. GELECEK MİMARLIK UYGULAMALARI İÇİN DAHA GENİŞ ÇIKARIMLAR

Görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin mimari tasarıma entegrasyonu, çağdaş mimarlık pratiğinde yaşanan daha kapsamlı bir dönüşümün göstergesidir. Bu dönüşüm kapsamında yangın güvenliği, yalnızca yapı yönetmeliklerinin gerekliliklerini karşılamak amacıyla ele alınan teknik bir zorunluluk olmaktan çıkmış; tasarım sürecinin ayrılmaz ve temel bir bileşeni hâline gelmiştir. Mimari projelerin giderek daha büyük, daha esnek ve çok işlevli yapılara dönüşmesiyle birlikte, mekânsal tasarım ile yangın güvenliği arasındaki ilişki de giderek daha bütünleşik bir yapı kazanmaktadır. Bu nedenle başarılı bir yapı tasarımı, yaşam güvenliği stratejilerinin mimari kaliteyi ve hedeflenen kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemeden tasarım sürecine entegre edilebilmesine bağlıdır.

Performansa dayalı yangın mühendisliği yaklaşımının gelişimi, bu tasarım anlayışındaki dönüşüm üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. Geleneksel kural temelli yaklaşımlar çoğunlukla sabit bölmelendirme çözümlerine ve standart uygulamalara dayanırken, performansa dayalı tasarım yöntemi mimarlara ve yangın mühendislerine her projenin kendine özgü özelliklerine göre yangın güvenliği hedeflerini değerlendirme olanağı sunmaktadır. Hesaplamalı modelleme, tahliye analizleri, duman hareketi simülasyonları ve dijital tasarım teknolojileri, kullanıcı güvenliğinden ödün vermeden daha esnek ve yenilikçi mimari çözümlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım içerisinde görünmez yangın ve duman perde sistemleri, tasarımcılara açık planlı mekânsal kurguları özgürce geliştirebilme olanağı sağlarken aynı zamanda yönet-

meliklerde öngörülen performans kriterlerinin karşılanmasına da katkıda bulunmaktadır.
Çağdaş yapıların giderek daha karmaşık hâle gelmesi, bütünleşik yangın koruma stratejilerine duyulan gereksinimi daha da artırmaktadır. Havalimanları, ulaşım terminalleri, hastaneler, alışveriş merkezleri, kültür yapıları ve karma kullanımlı projeler, çoğu zaman tek bir yapı içerisinde farklı işlevleri bir araya getirirken aynı anda binlerce kullanıcıya hizmet vermektedir. Bu tür yapılar, yalnızca acil durumlarda etkin bölmelendirme sağlayan değil; aynı zamanda günlük kullanım sürecinde yapının operasyonel, işlevsel ve estetik hedeflerini de destekleyen yangın koruma sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, mimari mekânların görsel sürekliliğini korurken yalnızca gerekli olduğunda geçici bölmelendirme sağlayarak bu gereksinimlere etkili bir çözüm sunmaktadır.
Bu dönüşümün önemli sonuçlarından biri de mimarın değişen rolüdür. Günümüzde mimarlardan, yangın güvenliğini dışarıdan eklenen teknik bir mühendislik gerekliliği olarak görmek yerine, yangın koruma ilkelerini kavrayarak bunları kavramsal tasarımın ilk aşamalarından itibaren projeye entegre etmeleri beklenmektedir. Yangın mühendisleri, statik danışmanları, mekanik tesisat mühendisleri ve üreticilerle erken aşamada kurulacak iş birliği; mimari tasarım ile teknik performans arasında daha etkin bir koordinasyon sağlamakta, uygulama sürecindeki çakışmaları azaltmakta ve hem daha güvenli hem de mimari açıdan daha bütüncül yapıların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır.
Dijital teknolojiler de bu disiplinler arası iş birliğini daha da güçlendirmektedir. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), hesaplamalı tasarım araçları, dijital ikiz teknolojileri ve gelişmiş yangın simülasyon yazılımları; proje ekiplerinin farklı tasarım alternatiflerini uygulama öncesinde değerlendirmesine, olası koordinasyon sorunlarını belirlemesine ve her yapının kendine özgü özelliklerine göre yangın koruma stratejilerini optimize etmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiler, kanıta dayalı tasarım kararlarının alınmasını destekleyerek daha dayanıklı, daha uyarlanabilir ve daha sürdürülebilir yapı çevrelerinin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.
Sürdürülebilirlik de yangın güvenliğinin mimari tasarıma entegrasyonunda giderek daha önemli bir tasarım ölçütü hâline gelmektedir. Uyarlanabilir bölmelendirme sistemleriyle tasarlanan yapılar, kullanım amacı, iç mekân düzeni ve işlevsel gereksinimlerde zaman içerisinde meydana gelebilecek değişimlere daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Gelecekte gerçekleştirilecek renovasyon çalışmalarında kalıcı yapısal müdahalelere duyulan ihtiyacı azaltan görünmez yangın ve duman perde sistemleri; kaynakların daha verimli kullanılmasına, inşaat atıklarının azaltılmasına ve yapıların kullanım ömrünün uzatılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu uyarlanabilirlik, esneklik, dayanıklılık ve kaynakların sorumlu biçimde yönetilmesini esas alan çağdaş sürdürülebilirlik ilkeleriyle doğrudan örtüşmektedir.
Gelecekte akıllı bina teknolojilerindeki gelişmelerin görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin yeteneklerini daha da geliştirmesi beklenmektedir. Gelişmiş sensör teknolojileri, otomatik performans izleme sistemleri, kestirimci bakım uygulamaları, yapay zekâ destekli yangın müdahale sistemleri ve akıllı bina yönetim sistemleriyle daha kapsamlı entegrasyon gibi yenilikler, bu sistemlerin operasyonel güvenilirliğini artırırken değişken yapı koşullarına daha hızlı ve daha etkin biçimde yanıt verebilmesini mümkün kılacaktır.
Sonuç olarak çağdaş mimarlığın geleceği; yenilikçilik, işlevsellik, sürdürülebilirlik ve kullanıcı güvenliği arasında dengeli bir yaklaşımın oluşturulmasına bağlıdır. Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, gelişmiş pasif yangın koruma teknolojilerinin mimari tasarım sürecine bütünleşik biçimde dahil edilmesi sayesinde bu dengenin sağlanabileceğini göstermektedir. Bu sistemlerin giderek daha yaygın biçimde benimsenmesi, mimari nitelik ile yaşam güvenliğinin birbirine rakip hedefler değil; birlikte yapı çevresinin kalitesini, dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini belirleyen tamamlayıcı ilkeler olarak değerlendirildiği yeni bir mesleki yaklaşımın geliştiğini ortaya koymaktadır.

12. SONUÇ

Açık planlı mimarinin giderek daha yaygın biçimde benimsenmesi, mekânsal esneklik, şeffaflık ve gelişmiş kullanıcı deneyimi sağlayarak çağdaş yapı tasarımını önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bununla birlikte, bu mimari avantajlar özellikle büyük ve birbirine bağlı hacimlerde yangın ve dumanın hızla yayılması açısından önemli yangın güvenliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle mimarlar ve yangın mühen-

disleri, çağdaş mimarlığın temel nitelikleri olan açıklık ve görsel sürekliliği korurken aynı zamanda etkin yangın bölmelendirmesi sağlayabilecek tasarım stratejileri geliştirmek durumundadır.

Bu çalışma, görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin geleneksel bölmelendirme yöntemlerine etkili bir alternatif sunduğunu ortaya koymuştur. Kalıcı yangına dayanıklı duvarlar ve sabit bariyerlerden farklı olarak bu sistemler, normal kullanım sırasında tamamen gizli kalmakta ve yalnızca yangın acil durumlarında otomatik olarak devreye girmektedir. Bu özellik sayesinde yapılar, hedeflenen mimari karakterlerini korurken aynı zamanda giderek daha kapsamlı hâle gelen yangın güvenliği yönetmeliklerinin gerekliliklerini de karşılayabilmektedir.

Çalışmada büyük hacimli yapılarda yangın ve duman hareketinin temel prensipleri incelenmiş, geleneksel bölmelendirme yaklaşımlarının sınırlılıkları değerlendirilmiş ve görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin teknolojik gelişimi ele alınmıştır. Ayrıca bu sistemlerin uygulama esnekliği, performans özellikleri, operasyonel güvenilirliği ve uluslararası kabul görmüş standartlara uygunluğun sağlanmasında bağımsız sertifikasyonun önemi ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Teknik performanslarının ötesinde, araştırma görünmez perde sistemlerinin başarılı biçimde uygulanabilmesinin tasarım sürecinin en erken aşamalarından itibaren mimari projeye entegre edilmelerine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Mimarlar, yangın mühendisleri, statik mühendisleri, üreticiler ve mekanik tesisat danışmanları arasında kurulacak etkin iş birliği; hem işlevsel hem de estetik hedefleri karşılayan bütünleşik çözümlerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) gibi dijital tasarım yöntemleri, disiplinler arası koordinasyonu güçlendirerek uygulama sürecindeki çakışmaları azaltmakta ve uzun dönem bakım planlamasını kolaylaştırmaktadır.

Çalışmada ayrıca görünmez yangın ve duman perde sistemlerinin gelecekteki mimari uygulamalar açısından taşıdığı potansiyel de vurgulanmıştır. Akıllı kontrol sistemleri, dijital izleme teknolojileri, sürdürülebilir malzemeler ve performansa dayalı yangın mühendisliği alanındaki gelişmelerin, bu sistemlerin güvenilirliğini ve uyarlanabilirliğini daha da artıracağı, aynı zamanda çağdaş mimarlıktaki kullanım alanlarını genişleteceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, yangın güvenliği artık yalnızca yasal düzenlemelerin gerektirdiği teknik bir zorunluluk veya mimari tasarımı sınırlayan bir unsur olarak değerlendirilmemelidir. Aksine, yapı performansını ve kullanıcı güvenliğini artıran temel bir tasarım parametresi olarak ele alınmalıdır. Görünmez yangın ve duman perde sistemleri, yenilikçi pasif yangın koruma teknolojilerinin mimari özgürlük ile yaşam güvenliği gerekliliklerini başarıyla bir araya getirebildiğini göstermektedir. Böylece mimarlar, açıklık, esneklik ve görsel süreklilik ilkelerini korurken aynı zamanda güncel yangın güvenliği standartlarına tam uyum sağlayabilmektedir.

Çağdaş mimarlık daha esnek, çok işlevli ve sürdürülebilir yapı anlayışına doğru gelişimini sürdürürken, gelişmiş yangın koruma teknolojilerinin mimari tasarım sürecine entegrasyonu giderek daha büyük önem kazanacaktır. Bu bağlamda görünmez yangın ve duman perde sistemleri yalnızca etkili bir yangın bölmelendirme çözümü değil, aynı zamanda mimari yenilik ile yangın güvenliği mühendisliğinin bütünleşmesine önemli katkı sağlayan çağdaş bir tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (t.y.). *Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik kılavuzu.*

[2] Millî Eğitim Bakanlığı. (2009). *Yangın önleme ve söndürme yönergesi.* T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.

[3] Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı (TÜYAK) & Yangından Korunma Derneği. (2024). *Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik uygulama kılavuzu* (Teknik Kitaplar Dizisi No. 10).

[4] Kent Smoke & Fire Curtains. (2025, 16 Temmuz). *Kent automatic horizontal fire curtain at SPPG, Singapore* [Video]. YouTube. https://youtu.be/6sJMpgNj8hQ?si=_R7ii4jRHy3IAkQ9

[5] Kent Smoke & Fire Curtains. (t.y.). *Smoke and Fire Curtains Catalogue.* https://kentsmokeandfirecurtains.com/

13. KISA ÖZGEÇMİŞ

Meryem Turan
Yüksek Mimar ve Yangın Güvenliği Uzmanı olan Meryem Turan, Mimarlık alanında yüksek lisans derecesine sahiptir. Türkiye, İran ve Orta Doğu genelinde mimari tasarım, proje yönetimi, akademik çalışmalar ve yangın güvenliği alanlarında 25 yılı aşkın köklü bir deneyime sahiptir. Kariyeri boyunca Tarh va Afarinesh bünyesinde seçkin otel projelerinin (Laleh Kish, Parsian Otelleri vb.) tasarım ve yönetim süreçlerini yürütmüş; Şehit Behişti ve Azad Üniversitelerinde akademisyen ve Bölüm Başkanı olarak görev yapmıştır.

Halen İstanbul merkezli Next Co.'nun Kurucu Ortağı ve Genel Müdürü olarak Siderise ve Kent Smoke & Fire Curtains markalarının bölge temsilciliğini üstlenmektedir. Aynı zamanda TÜYAK Cephe ve Perde Komiteleri Üyesi olarak yapılarda pasif yangın durdurucu sistemler, yangın/duman perdeleri ve teknik cephe detay çözümleri konularında danışmanlık hizmeti sunmaktadır. Mimarlık disiplininin yanı sıra geleneksel sanatlara da ilgi duyan Meryem Turan, profesyonel olarak Nesta'lik kaligrafisi (Nestaliq Hat Sanatı) ve Tezhip (Geleneksel Süsleme Sanatı) ile ilgilenmektedir.

Kayhan Turan
Yüksek Mimar ve Yönetici olan Kayhan Turan, Mimarlık alanında yüksek lisans derecesine sahiptir. Türkiye ve İran genelinde mimari tasarım, endüstriyel ürün tasarımı, proje yönetimi ve üst düzey yöneticilik alanlarında 25 yılı aşkın köklü bir deneyime sahiptir.

Kariyeri boyunca İran'ın en kapsamlı turizm ve yaşam projelerinden biri olan Dasht-e Noor Rekreasyon ve Turizm Kompleksi'nde Mimarlık Bölüm Başkanı (Head of Architecture) olarak devasa ölçekli projelerin tasarım ve uygulama süreçlerini yönetmiştir. Ayrıca Smart Group Plastik Sanayi'de CEO olarak görev yapmış; Red Dot ve A' Design Award gibi uluslararası prestijli tasarım ödüllerine layık görülen yenilikçi endüstriyel tasarım ve üretim süreçlerine liderlik etmiştir.

Halen İstanbul merkezli Next Co.'nun Kurucu Ortağı olarak Siderise ve Kent Smoke & Fire Curtains markalarının bölge temsilciliği bünyesinde pasif yangın durdurucu sistemler, yangın/duman perdeleri ve mimari projelerde teknik danışmanlık ve iş geliştirme süreçlerini yürütmektedir. Kayhan Turan, mimari ve yönetmelik odaklı çalışmalarının yanı sıra görsel sanatlarla da yakından ilgilenmekte; profesyonel olarak Resim ve Karikatür alanlarında çalışmalar gerçekleştirmektedir.

David John Millington
Kent Smoke and Fire Curtains'ın (Dubai, BAE) Direktörüdür ve yaşam güvenliği mühendisliği ile duman/yangın perdelerinin üretimi alanında 40 yılı aşkın deneyime sahip, uluslararası alanda tanınmış bir sektör lideridir. Kariyerine 1989 yılında Birleşik Krallık'ta BLE'de Saha Mühendisi olarak başlamış, 2015 yılına kadar Operasyon Direktörü olarak görev yapmış ve ardından Kent Smoke and Fire Curtains'ı kurmuştur.
RIBA onaylı bir CPD sağlayıcısı olan ve uluslararası ticaret fuarları, seminerler ve konferanslarda sıkça konuşmacı olarak yer alan David; ürün geliştirme, test süreçleri ve uluslararası yangın ve yaşam güvenliği standartları (BS, EN, UL, NFPA, IBC, AS ve GCC Sivil Savunma standartları dahil) konusunda geniş bir uzmanlığa sahiptir.
Kariyeri boyunca, Heathrow Havalimanı (Birleşik Krallık), Hong Kong Uluslararası Havalimanı, Riyad Metrosu, Mescid-i Haram Genişletme Projesi (Suudi Arabistan), Atlantis The Palm (Dubai), Galaxy Macau ve Laos Ulusal Meclis Binası gibi dünya çapındaki prestijli altyapı projelerine teknik uzmanlık ve özel çözümler sunmuştur.

YAPISAL UYGULAMALARDA AHŞABIN YANGIN PERFORMANSININ GELIŞTIRILMESI: GÜNCEL ZORLUKLAR VE GELECEĞE YÖNELIK YAKLAŞIMLAR

Elif KAYNAK
Oisik DAS

ÖZET

Ahşabın yapı sektöründe yaygınlaşan kullanımı, yangın davranışının daha iyi anlaşılmasını ve yangın performansının geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Yangına maruz kalan ahşapta ısıl bozunma, tutuşma ve yanma süreçleri gerçekleşirken, zamanla oluşan kömür tabakası da yanmanın ilerleyişini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, özellikle laboratuvar ölçekli testler ele alınarak ahşabın yangın davranışı ve yangın performansının değerlendirilmesine genel bir bakış sunulmaktadır. Ayrıca, laboratuvar ölçekli testler ile Avrupa yangına tepki sınıflandırması arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Yangın performansının iyileştirilmesine yönelik yaklaşımlar kapsamında, özellikle fosfor esaslı ve biyo-bazlı alev geciktirici uygulamalar, bunların etki mekanizmaları ile fiksasyon ve yıkanma direncinin iyileştirilmesine yönelik güncel çalışmalar ele alınmaktadır. Termo-mekanik yoğunlaştırma ve bu yöntemin alev geciktirici uygulamalarla birlikte kullanımı ise yangın ve mekanik performansın birlikte iyileştirilmesi açısından değerlendirilmektedir. Son olarak, yaşlanma sürecinde alev geciktirici etkinliğin korunması ve uzun dönem performansının değerlendirilmesine ilişkin mevcut zorluklar ve gelecekteki araştırma ihtiyaçları tartışılmaktadır.

Anahtar sözcükler: Ahşap; Yangın davranışı; Alev geciktiriciler; Yoğunlaştırılmış ahşap

IMPROVING THE FIRE PERFORMANCE OF WOOD FOR STRUCTURAL APPLICATIONS: CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT

There is a growing need to better understand and improve the fire performance of wood due to its increasing use in construction. When exposed to fire, wood undergoes thermal decomposition, ignition and combustion, accompanied by the progressive formation of a char layer that influences its subsequent burning behaviour. This paper provides an overview of the fire behaviour and fire performance assessment of wood, with emphasis on laboratory-scale testing. The relationship between laboratory-scale testing and European reaction-to-fire classification is also discussed. Approaches for improving fire performance are presented, with particular focus on phosphorus-based and bio-derived fire-retardant treatments, their mechanisms of action, and recent developments addressing fixation and leaching resistance. Thermo-mechanical densification and its combination with fire-retardant treatment are further considered in the context of balancing fire and mechanical performance. Finally, challenges associated with maintaining fire-retardant performance during ageing and assessing its long-term durability are discussed as important directions for future research.

Key words: Wood; Fire behaviour; Fire retardants; Densified wood

1. INTRODUCTION

The buildings and construction sector accounts for approximately 37% of global CO_2 emissions, placing considerable pressure on the sector to transition towards lower-carbon and more resource-efficient materials [1]. Wood has gained renewed interest as a renewable construction material capable of storing biogenic carbon and substituting more carbon-intensive materials such as concrete and steel [2,3]. Life-cycle studies generally report lower climate impacts for timber-based construction, although the magnitude of these benefits depends on factors including forest management, system boundaries, service life and end-of-life scenarios [3]. A meta-analysis of mass-timber buildings, for example, reported an average 69% reduction in construction-phase greenhouse-gas emissions compared with conventional alternatives [2].

Beyond its environmental benefits, wood combines low density with a high strength-to-weight ratio, favourable thermal properties, ease of processing and versatility, making it attractive for both structural and non-structural applications [4]. The development of engineered wood products has further expanded the structural applications of wood, with mass-timber technologies such as cross-laminated timber (CLT) enabling its use in multi-storey construction [2,5]. Their relatively low weight and suitability for prefabrication can additionally facilitate transportation, installation and rapid construction [6].

However, increasing the use of wood in buildings also places greater emphasis on fire safety. Its inherent combustibility remains an important technical and regulatory challenge, particularly as timber is increasingly considered for larger and more complex buildings; recent evidence from the Finnish construction sector identifies regulatory compliance and fire safety among the principal barriers to wider adoption [7]. Improving the fire performance of wood while preserving the advantages that make it attractive for construction is therefore essential for its broader application.

2. FIRE BEHAVIOUR OF WOOD

When exposed to heat, wood undergoes moisture evaporation and thermal decomposition, proceeding predominantly through pyrolysis under oxygen-depleted conditions and involving thermo-oxidative reactions in the presence of oxygen [8]. At temperatures up to ≈200 °C, mass loss is primarily associated with drying and the release of non-combustible gases, while at higher temperatures decomposition increasingly produces volatile gases, tar and carbonaceous char. The thermal decomposition of wood involves its main constituents, cellulose, hemicellulose and lignin, which decompose over overlapping temperature ranges [9]. Hemicellulose generally decomposes at lower temperatures, mainly between 220 and 315 °C, followed by cellulose at approximately 315–400 °C, whereas lignin decomposes more gradually over a considerably broader temperature range. These temperature ranges may vary depending on wood species and heating conditions [10]. Lignin contributes substantially to char formation because of its aromatic structure and broad decomposition range [11]. The thermal decomposition and char formation of wood under fire exposure are illustrated in Figure 1. Ignition of wood is preceded by the generation of combustible volatiles through thermal decomposition [10]. Ignition behaviour is influenced by the imposed heat flux and wood characteristics including moisture content, density, porosity and permeability, as well as specimen size and orientation. Moisture generally delays ignition, while density, porosity and permeability influence heat and mass transport within the material. Following ignition, combustion of the volatile products releases heat, while continued pyrolysis supplies further combustible volatiles to the flame and progressively forms a char layer.Char formation strongly influences the subsequent burning behaviour. The carbonaceous layer provides acts as a mass-transfer barrier, slowing the decomposition of the underlying wood and restricting the transport of volatile products towards the surface [12]. Consequently, wood typically exhibits an initial increase in heat release following ignition, followed by a decrease as the insulating char layer develops [13]. As heating continues, however, changes in the structure and integrity of the char

can affect its barrier function and alter the subsequent heat release behaviour. In cone calorimeter testing, these processes contribute to the characteristic two-peak HRR behaviour discussed in Section 3. Oxidation of the char can also result in glowing and smouldering combustion, which may continue after flaming combustion ceases [8]. These decomposition and char-forming processes are particularly important for improving the fire performance of wood through flame-retardant treatments.

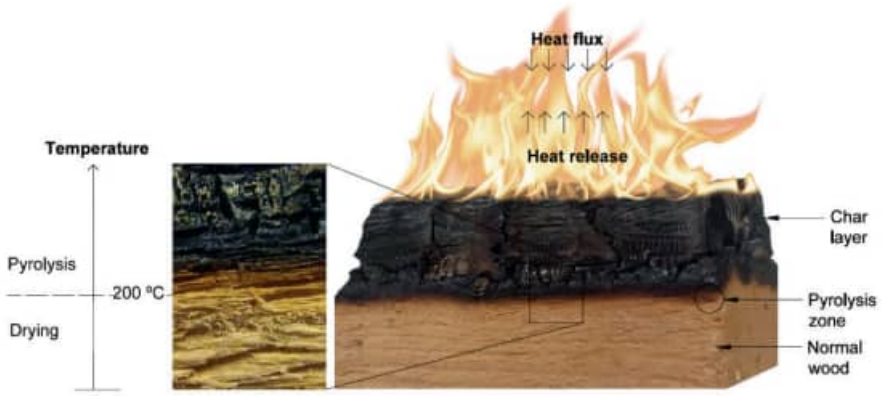


Figure 1. Schematic representation of thermal decomposition and char formation in wood during fire exposure. Adapted from [8] under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

3. FIRE PERFORMANCE ASSESSMENT

3.1. Laboratory-Scale Characterization and Testing

A range of laboratory-scale analytical and fire-testing techniques are used to characterize the thermal decomposition, flammability and heat release behaviour of wood. These methods provide complementary information and differ considerably in sample size, heating conditions and measured parameters. Consequently, results obtained using different techniques describe distinct aspects of material response and cannot be considered interchangeable.

Thermogravimetric analysis (TGA) is widely used to investigate the thermal decomposition of wood and to evaluate changes induced by modification or fire-retardant treatments. The mass of a milligram-scale specimen is continuously monitored during controlled heating, typically under inert or oxidative conditions, while derivative thermogravimetry (DTG) provides the corresponding mass-loss rate [14]. TGA and DTG can therefore provide information on decomposition onset, temperatures associated with maximum mass-loss rates, degradation stages and residual char yield [12]. Importantly, the measured thermal degradation behaviour is strongly influenced by experimental conditions, including the purge gas (e.g., nitrogen or air), heating rate, temperature range, and specimen size and geometry, which should be considered when comparing results across different studies. DTG is particularly useful for distinguishing overlapping decomposition stages and identifying temperatures associated with peak rates of pyrolysis. For wood, the resulting behaviour reflects the overlapping degradation of hemicellulose, cellulose and lignin, which occur over different and partly overlapping temperature ranges [10]. Fire-retardant treatments may alter these degradation pathways, often promoting decomposition at lower temperatures while increasing char formation [12].

Microscale combustion calorimeter (MCC), also referred to as pyrolysis combustion flow calorimeter (PCFC), is a small-scale fire test based on the oxygen-consumption technique that quantifies the intrinsic combustion characteristics of milligram-scale specimens [15]. MCC yields parameters such as peak heat release rate (pHRR), total heat release (THR), and char residue; however, it does not capture macroscopic

features of wood such as specimen geometry and the development of a continuous char layer [12]. ASTM D7309 [16] specifies a specimen mass of 1–10 mg, with 2–5 mg commonly used for most polymers, provided that oxygen consumption remains below 50% of the available oxygen in the combustion gas stream throughout the test. When oxygen consumption at the maximum specific heat release rate is only a few percent, increasing the specimen mass is recommended to improve the signal-to-noise ratio [17]. This can be particularly relevant for lignocellulosic materials, for which specimen mass may influence the measured response, as illustrated for pine wood in Figure 2.

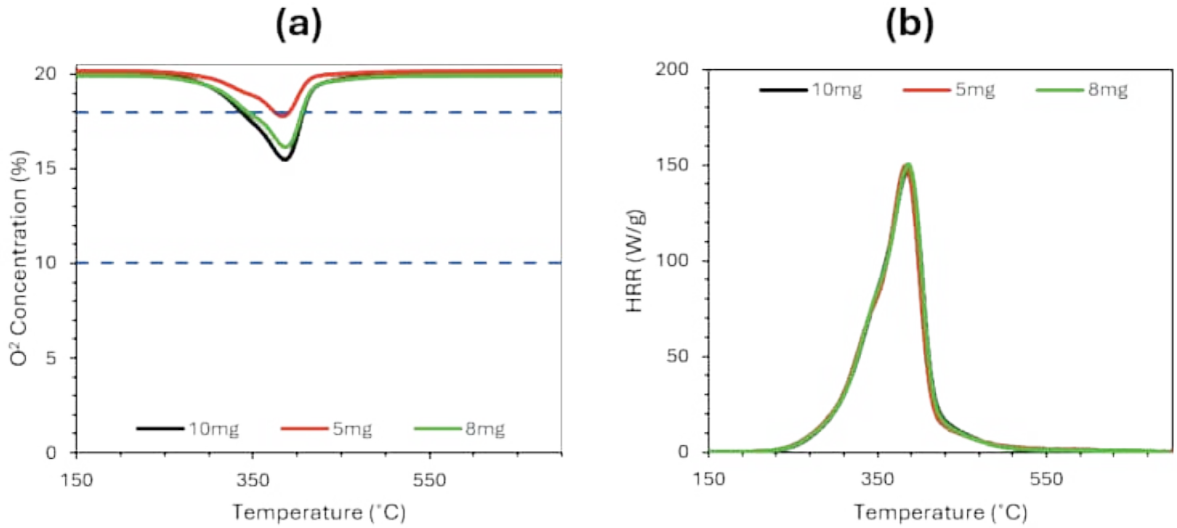


Figure 2. Effect of specimen mass on the (a) oxygen-consumption and (b) heat release rate profiles of pine wood measured by microscale combustion calorimetry (MCC).

The **limiting oxygen index (LOI)** test is primarily used for polymeric materials and determines the minimum oxygen concentration in a flowing oxygen–nitrogen mixture required to sustain flaming combustion of a vertically mounted specimen [15]. Higher LOI values generally indicate a reduced tendency to sustain flaming. The method has also been widely adopted for evaluating the flammability of untreated and fire-retardant-treated wood. However, there is yet to be a consensus on the specimen dimensions used for wood, with different specimen types specified in ISO 4589-2 [18] being adopted across the literature, including Type [19,20], Type II [21,22], and Type IV [23]. Consequently, specimen type should be considered when comparing reported LOI values for wood.

UL-94 tests, commonly used for polymeric materials [15], are less frequently applied to wood, although both horizontal (HB) and vertical burning configurations have been used to evaluate fire-retardant-treated wood [24-27]. In these tests, specimens are exposed to a small open-flame ignition source and their subsequent burning behaviour is evaluated. In vertical testing, untreated wood generally does not achieve a UL-94 classification, whereas effective fire-retardant treatments may enable V-1 or V-0 ratings [24,26]. Thus, UL-94 can provide complementary information on the effectiveness of fire-retardant treatments, particularly their ability to promote self-extinguishing behaviour.

The **cone calorimeter** is one of the most widely used techniques for evaluating the reaction-to-fire behaviour of wood. Typically, a 100 × 100 mm specimen is subjected to a defined external radiant heat flux, while the oxygen-consumption technique, assuming an approximately constant heat release of 13.1 MJ per kg of oxygen consumed during combustion, is used to determine the heat release rate (HRR) [28]. The cone calorimeter provides several parameters relevant to fire behaviour, including time to ignition (TTI), peak heat release rate (pHRR), total heat release (THR), effective heat of combustion, mass loss and smoke production. Specimen thickness is an important consideration when testing wood in the cone calorimeter,

with ISO 5660 [29] allowing specimen thicknesses up to 50 mm . At the lower end, sufficient thickness is required to ensure thermally thick behaviour and minimize the influence of the backing material [30]. For particleboard, the minimum thickness required to achieve thermally thick conditions has been approximated as:

$$l = 0.6\,\rho/q'' \qquad (Eq.\,1)$$

where l is the minimum specimen thickness (mm), ρ is the material density (kg/m^3), and q'' is the incident heat flux (kW/m^2); this relationship has also been suggested as a reasonable rule of thumb for other materials [30].

Wood, when tested in the cone calorimeter (Figure 3(a)), commonly exhibits two characteristic HRR peaks (Figure 3(b)): an initial peak shortly after ignition, followed by a decrease associated with the formation of an insulating char layer, and a second/end peak that generally occurs later and becomes less pronounced as specimen thickness increases [13,31].

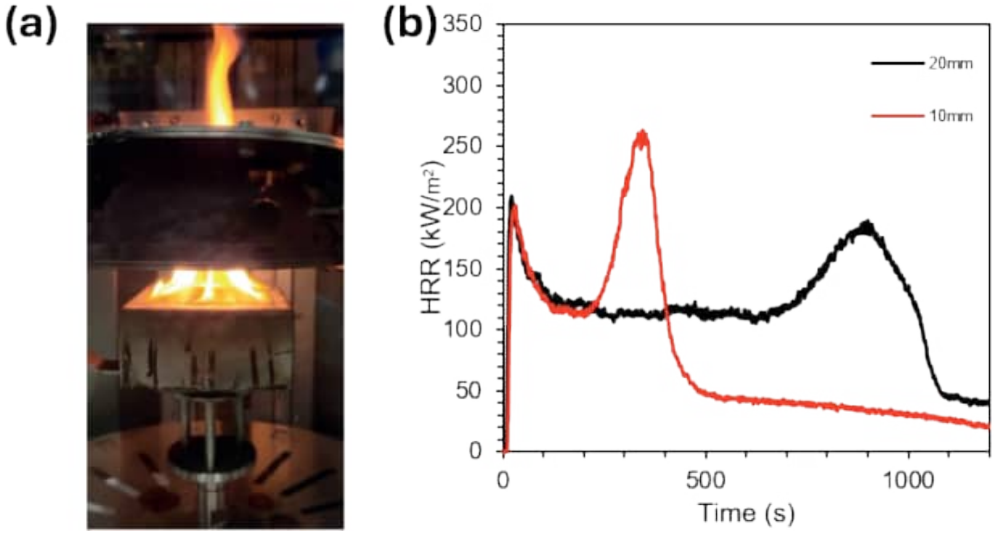


Figure 3. (a) Wood specimen burning during cone calorimeter testing at an external heat flux of 50 kW/m^2 (b) HRR curves for 10 and 20 mm specimens adapted from [31] under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Table 1 summarizes the principal characteristics of the laboratory-scale techniques discussed above, highlighting differences in test conditions, measured parameters, and the aspects of fire behaviour assessed.

3.2. From laboratory testing to fire classification

Laboratory-scale fire tests are valuable for material development and screening, as they require relatively small amounts of material. For construction products, however, reaction-to-fire performance is ultimately evaluated within standardized classification systems. In Europe, reaction-to-fire performance of construction products is classified according to EN 13501-1, with classes A1–F and additional classifications for smoke production and flaming droplets/particles. For combustible wood products of sufficient thickness and density, the most relevant classes are generally B, C and D, while untreated wood typically achieves D-s2,d0 [32].

The single-flame source test according to EN ISO 11925-2 and the single burning item (SBI) test according to EN 13823 are central to the classification procedure for these classes. EN ISO 11925-2 evaluates ignitability under direct small-flame exposure [33]. The main parameters used for classification include the fire growth rate index (FIGRA), total heat release during the first 600 s (THR_{600s}), smoke growth rate index (SMOGRA), and total smoke production during the first 600 s (TSP_{600s}) [32]. SBI requires larger specimens and is therefore more demanding in terms of material, time and cost, which has motivated the use of cone calorimeter as a screening tool for estimating SBI performance [32]. Since both tests determine heat release using the oxygen-consumption technique, correlations between their results have been extensively investigated despite differences in scale, geometry and fire exposure [34]. One approach uses the ignition time and complete HRR curve obtained from the cone calorimeter to predict the initial part of the SBI HRR curve and consequently the FIGRA [35]. The calculation model is based on the ConeTools model originally developed for the Room Corner Test. Hakkarainen and Kokkala [36] applied a one-dimensional thermal flame-spread model using data from a single cone calorimeter test at 50 kW m^{-2} to predict the FIGRA-based classification of building products. Steen-Hansen and Kristoffersen [37] applied multivariate statistical analysis of cone calorimeter data to directly predict the Euroclass and smoke classification of wood-based products, with both models achieving an overall prediction accuracy above 90%. Despite various efforts, extrapolation from cone calorimeter data to SBI classification remains challenging. Individual cone calorimeter parameters may overlap between Euroclasses [37], while product-scale effects related to flame spread, mounting and end-use configuration may not be adequately represented in cone calorimeter testing. Such effects can be particularly important for fire-retardant-treated wood, where physical or mechanical behaviour during fire exposure may influence the effectiveness of the treatment.

Table 1. Summary of laboratory-scale techniques used to assess fire behaviour. Adapted from [15] under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

	LOI	**UL-94**	**MCC (PCFC)**	**Cone calorimeter**
Relevant standard(s)	ISO 4589 / ASTM D2863	ASTM D3801/ ASTM D635	ASTM D7309	ISO 5660 / ASTM E1354
Typical output parameters	LOI (%)	HB, V-2, V-1, V-0; afterflame time; dripping	pHRR, THR, EHC	TTI, HRR, pHRR, THR, EHC, mass loss, smoke release
Test scale	Small flame, ambient O_2 control	Small flame, vertical / horizontal burning	Microscale, controlled pyrolysis	Bench-scale, external heat flux (0-100 kW/m^2)
Ignitability		✓		✓
Rate of heat release			✓	✓
Ease of extinction	✓	✓		
Smoke production				✓

4. APPROACHES TO IMPROVE THE FIRE PERFORMANCE OF WOOD

4.1. Fire-retardant mechanisms

Fire-retardant treatments interfere with one or more physical and chemical processes involved in the combustion of wood [15]. Their mechanisms can generally be described according to their place of action (condensed or gas phase) and mode of action (physical or chemical), although several mechanisms may operate simultaneously within the same fire-retardant system. The principal mechanisms relevant to wood include:

Cooling: Endothermic decomposition of fire retardants absorbs heat from the substrate, reducing its temperature and delaying thermal decomposition and ignition. Metal hydroxides such as aluminium hydroxide and magnesium hydroxide act as heat sinks during decomposition while simultaneously releasing water vapour [12].

Dilution: The release of non-combustible gases, including H_2O, CO_2 and NH_3, dilutes combustible volatiles and/or oxygen in the gas phase, reducing the intensity of flaming combustion [15]. In wood treatments, nitrogen-containing compounds can act through the release of ammonia, while metal hydroxides and carbonates release water vapour or CO_2 [12].

Protective barrier formation: Solid protective layers formed during heating restrict heat transfer to the underlying wood and reduce the transport of oxygen and combustible decomposition products. Silicon-containing systems, for example, can form thermally stable SiO_2-rich layers over the developing char, thereby providing thermal shielding and limiting char oxidation [12].

Char formation: Chemical modification of the condensed-phase decomposition pathway can favour dehydration and carbonization over the formation of combustible volatile products. Phosphorus-based compounds are among the most widely used examples for wood: phosphoric acid and pyrophosphate species catalyse dehydration and crosslinking reactions in cellulose, promoting the formation of a protective carbonaceous residue [12]. Boron-containing compounds can similarly promote cellulose dehydration and char formation [10].

Gas-phase flame inhibition: Chemical inhibition occurs when flame-retardant species interfere with the radical reactions responsible for sustaining flaming combustion. Halogen-containing compounds classically act by scavenging flame-propagating radicals, while some phosphorus-containing compounds may also inhibit gas-phase reactions depending on their chemical structure [10].

4.2. Chemical modification of wood

A wide range of chemical fire retardants has been investigated for wood, including phosphorus-, nitrogen-, boron- and silicon-containing compounds, alongside growing interest in bio-based systems, as reviewed recently [38,39]. Phosphorus- and boron-containing compounds are among the established fire retardants for wood, often acting by modifying thermal decomposition and promoting char formation [12]. Phosphate-containing compounds are particularly effective for hydroxyl-rich materials such as wood, where they promote dehydration and favour retention of material in the condensed phase rather than formation of combustible volatiles [21]. Boron compounds can similarly promote char formation and suppress combustion; however, the classification of several borates, including boric acid and disodium tetraborate, as substances of very high concern (SVHCs) in the EU due to reproductive toxicity raises concerns regarding their wider use [40]. Despite these concerns, borates remain effective in improving the fire performance of wood. For example, borax-treated radiative-cooling (delignified) wood exhibited an increase in LOI from

21% to 37%. In cone calorimeter at 50 kW m^{-2}, TTI increased from 4 to 6 s and the fire growth index decreased from 28 to 5 kW m^{-2} s^{-1} compared with pristine wood [41].

Phosphorus-based treatments can substantially alter the thermal decomposition and subsequent combustion of wood. This is illustrated by the treatment of partially delignified wood with phytic acid, a bio-based phosphorus-containing compound [42]. The treatment initiated decomposition at lower temperatures but increased the residue at 800 °C from 18% for natural wood to 43% for the treated wood, indicating that the earlier decomposition favoured char formation. This change in decomposition behaviour was accompanied by a reduction in heat release: at an 8 wt% phytic acid uptake, THR decreased by approximately 71%, while the LOI increased from 22% to 37% and a V-0 rating was achieved. In addition to promoting charring in the condensed phase, phytic acid was reported to inhibit gas-phase combustion through the capture of flame-propagating radicals. Other phosphorus chemistries have also been explored for wood modification. For example, maleic anhydride has been used in combination with sodium hypophosphite to improve the fire performance of Scots pine [43]. The treatment reduced THR by approximately 50% and almost doubled the residue in MCC, indicating enhanced char formation

Despite their effectiveness, an important limitation of many phosphate-based treatments is their water solubility and consequent susceptibility to leaching, which can compromise long-term fire-retardant performance [21]. Recent developments have therefore also focused on retaining or chemically fixing the active species within the wood. For example, an in-situ phosphorus–boron–magnesium/silicate system reduced THR and total smoke production by approximately 95% and 87%, respectively, and the improved fire-retardant and smoke-suppression performance was maintained after water immersion [44].

Increasing attention has also been directed towards incorporating bio-derived components into fire-retardant systems [11,22]. Kraft lignin modified with ammonium dihydrogen phosphate (ADP) and urea, for example, reduced the pHRR of Scots pine from 149 to 52 W g^{-1} in MCC and increased char formation [45]. Importantly, improved fire performance was retained after EN 84 leaching, which was attributed to reactive fixation through phosphorylation and carbamylation of Kraft lignin and wood polymers, together with the entrapment of fire-retardant components by condensed Kraft lignin. More recently, bio-based organic acids have been incorporated into phosphorus-containing treatment systems [46]. Catalytic heat treatment combining ADP with citric and oxalic acids and glyoxal reduced THR by 40% and smoke production by 75%, and increased LOI from 24% to 42%. The treatment retained most of its improved fire-retardant performance after leaching, with phosphorus remaining within the wood structure. However, chemical modification can also affect the mechanical properties of wood; for example, reductions in flexural strength were observed for both the Kraft lignin/ADP/urea [45] and catalytic ADP/organic-acid treatments [46]. Therefore, the effects of fire-retardant treatments on the mechanical and other functional properties of wood should also be considered, particularly for structural applications.

4.3. Combined treatments

Thermo-mechanical densification is an effective approach for improving the mechanical properties of low- and medium-density wood by compressing the cellular structure and increasing density [47] Substantial improvements in mechanical properties have been reported; for example, thermo-mechanical densification of *Pinus elliottii* at a compression degree of approximately 40% increased MOE by 85% and MOR by approximately 295% [48]. The extent of these improvements depends on processing conditions, particularly compression ratio, temperature and duration, as excessive thermal exposure can degrade wood components and reduce mechanical performance [47].

Densification does not necessarily result in improved overall fire performance. Thermo-mechanical densification of Scots pine increased TTI from 18 to 28 s at a compression ratio of 50% [31]. However, compared with non-densified wood of the same thickness, THR and total smoke release were approximately 60%

and 94% higher, respectively [49]. Combining densification with fire-retardant treatment therefore offers a promising approach for improving both mechanical and fire performance, although further studies are required to evaluate and optimise such combined treatments.

Combining densification with fire-retardant treatment therefore offers a promising approach for improving both mechanical and fire performance [49]. For example, partially delignified and densified wood treated with ADP exhibited substantially reduced heat release while maintaining high mechanical strength [50]. However, further studies are required to evaluate and optimise such combined treatments.

5. CURRENT CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

The long-term durability of fire-retardant (FR) treatments remains an important challenge for wood used in construction. Exposure to moisture and weathering can result in migration, leaching or degradation of FR components, leading to deterioration of the initial fire performance [51]. Long-term studies have shown that several FR-treated wood products lose much of their improved reaction-to-fire performance during accelerated and natural weathering. EN 16755 provides a European framework for assessing the durability of reaction-to-fire performance of FR-treated wood through weathering followed by fire testing [52]. Such assessments can, however, require relatively large specimens and substantial amounts of material, particularly when the Single Burning Item (SBI) test is used. This presents practical limitations during material development and systematic studies involving multiple formulations and ageing conditions. Small-scale methods such as cone calorimetry could therefore provide a useful tool for screening and quantifying changes in fire behaviour following ageing. Developing and validating relationships between small- and medium-scale fire test results for aged FR-treated wood could therefore enable more efficient evaluation of long-term fire performance while maintaining appropriate links to regulatory-scale testing.

6. CONCLUSIONS

Wood is a renewable and versatile material with considerable potential for sustainable construction. However, its inherent combustibility remains an important challenge for broader structural applications. Understanding the thermal decomposition, ignition, heat release and char-forming behaviour of wood provides the basis for developing effective approaches to improve its fire performance. Chemical modification, particularly using phosphorus-based and bio-derived systems, offers considerable potential, although leaching resistance and possible effects on mechanical properties remain important considerations. Thermo-mechanical densification provides substantial mechanical benefits but does not necessarily improve overall fire performance; however, its combination with FR impregnation represents a promising approach. Recent developments demonstrate the potential of these approaches to improve fire performance while retaining the functional properties of wood. Future research should increasingly consider not only the fire performance during product development, but also its durability throughout service life, together with efficient methods for evaluating changes following ageing.

7. REFERENCES

[1] Global Status Report for Buildings and Construction 2025–2026: Building fast. Falling short.Manufacturing Close-Up 2026.

[2] Himes A, Busby G. Wood buildings as a climate solution. Developments in the built environment 2020 Nov;4:100030.

[3] Peñaloza D, Erlandsson M, Falk A. Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings. Construction & building materials 2016 Oct 30;125:219–226.

[4] Alves M, Mesquita L, Piloto P, Lopes N. Fire performance of light timber frame construction in Europe: a review on fire protection measures and fire safety design. Journal of Building Engineering 2026 Feb 15;120:115500–26.

[5] Munir Q, Hyvärinen M, Kärki T. Sustainable Utilization and Fire Protection of Wood-Based Composites in Buildings: Innovations, Challenges, and Future Directions. Sustainable development (Bradford, West Yorkshire, England) 2026 Feb 8.

[6] Chen L, Tamagnone G, Wan-Wendner L. Review of wood species and material characteristics of mass timber for structural applications. Low-carbon Mater Green Constr 2026 Dec 1;4(1):8.

[7] Karasu T, Niskanen I, Makkonen T. Challenges and opportunities in timber construction: professional perspectives from the Finnish construction industry. Scandinavian journal of forest research 2026 Apr 3;41(3):250–261.

[8] Alves M, Mesquita L, Piloto P, Lopes N. Fire performance of light timber frame construction in Europe: a review on fire protection measures and fire safety design. Journal of Building Engineering 2026 Feb 15;120:115500–26.

[9] Kaynak E, Shanmugam V, Johansson J, Sykam K, Gawusu S, Osvaldová LM, et al. Understanding the Reaction-to-Fire Properties of Biomass and Their Respective Biochars. ACS omega 2025 Oct 7;10(39):44895–44902.

[10] Mensah RA, Jiang L, Renner JS, Xu Q. Characterisation of the fire behaviour of wood: From pyrolysis to fire retardant mechanisms. J Therm Anal Calorim 2023 Feb 1;148(4):1407–1422.

[11] Özkan A, Mıhlayanlar E, Turhan EA, Sarıoğlu E, Berlu P, Kaynak E, et al. Role of lignin on microstructure, mechanical properties and flame retardancy of nanocellulose-based composite hydrogels. International journal of biological macromolecules 2025 Jun 1;311(Pt 3):144007.

[12] Lowden LA, Hull TR. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. Fire Sci Rev 2013 Sep 3;2(1):4.

[13] Sanned E, Mensah RA, Försth M, Das O. The curious case of the second/end peak in the heat release rate of wood: A cone calorimeter investigation. Fire and materials 2023 Jun;47(4):498–513.

[14] Üreyen ME, Kaynak E. Polimerlerin Isıl (Termal) Özellikleri. In: Hüseyin Avcı, editor. Polimerler: Özellikleri ve Uygulamaları: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yayınları / ESOGÜ Yayınevi; 2021.

[15] Kaynak E, Wachter I, Shanmugam V, Zuhudi NZM, Das O. Lignin-Derived Flame Retardants for Enhanced Fire Safety: A Review. Macromolecular materials and engineering 2026 Apr;311(4):n/a.

[16] ASTM International. ASTM D7309-26a: Standard Test Method for Determining Flammability Characteristics of Plastics and Other Solid Materials Using Microscale Combustion Calorimetry. 2026.

[17] Hughes WJ, Center T. DOT/FAA/TC-12/53 Federal Aviation Administration. 2013 -04.

[18] Plast -Bestämning av brandegenskaper med hjälp av syreindex -Del 2: Provning vid omgivningstemperatur (ISO 4589-2:2017) Plastics -Determination of burning behaviour by oxygen index -Part 2: Ambient-temperature test (ISO 4589-2:2017).

[19] Tomak ED, Cavdar AD. Limited oxygen index levels of impregnated Scots pine wood. Thermochimica acta 2013 Dec 10;573:181–185.

[20] Wachter I, Kvorková V, Štefko T, Rantuch P, Martinka J, Lin C, et al. Green flame retardancy: biomass-based treatment for poplar wood. Eur J Wood Prod 2026 Apr 1;84(2):57.

[21] Lin C, Karlsson O, Das O, Mensah RA, Mantanis GI, Jones D, et al. High Leach-Resistant Fire-Retardant Modified Pine Wood (Pinus sylvestris L.) by In Situ Phosphorylation and Carbamylation. ACS omega 2023 Mar 28;8(12):11381–11396.

[22] Koparipek-Arslan N, Kaynak-Uraz E, Senses E. Dynamically bonded cellulose nanocrystal hydrogels: Structure, rheology and fire prevention performance. Carbohydrate polymers 2024 Jun 15;334:122013.

[23] Zhang Z, He J, Wu Y, Luo J, Qu W. ZnP-H2Im glass for flame retardant wood: In situ vitrification and synergistic mechanisms. Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland : 1996) 2025 Nov 15;524:169691.

[24] Gao Y, Feng S, Yan L, Chu T, Wang Z, Xiao J, et al. Flame Retardancy of Densified Wood Modified by Bio-Material Based Flame Retardant. Fire Technol 2024 Sep;60(5):3671–3688.

[25] Kumar M, Kumar M, Gulati K, Bagoria R, Arora S. Thermal, flammability and iso-conversional multiple heating rate kinetic studies of impregnated poplar wood veneers. J Indian Acad Wood Sci 2022 Jun 1;19(1):30–39.

[26] Tang G, Fu C, Zhen X, Guan M, Wang X, Deng D, et al. Multi-functional densified wood laminates with hydrophobicity, anti-flammability, and thermal insulation for structural applications. Industrial crops and products 2025 Oct 15;234:121520.

[27] Münstermann N, Weichold O. A fire-retardant coating for wood made from chitosan itaconate. Progress in organic coatings 2024 Dec;197:108793.

[28] Vytenis Babrauskas. The Cone Calorimeter. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering; 2016. p. 952–980.

[29] SIS SSI. Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement) (ISO 56601:2015, IDT)SS-ISO 5660-1:2019. 2019.

[30] Babrauskas V, Parker WJ. Ignitability measurements with the cone calorimeter. Fire and materials 1987 Mar;11(1):31–43.

[31] Kaynak E, Lin C, Wachter I, Svensson E, Das O. Fire behaviour of thermo-mechanically densified wood. npj Mater Degrad 2026 -08-14;10(1).

[32] Steen-Hansen A, Kristoffersen B. Prediction of fire classification for wood based products. A multivariate statistical approach based on the cone calorimeter. Fire and materials 2007 Apr;31(3):207–223.

[33] Östman BA-, Mikkola E. European classes for the reaction to fire performance of wood products. European journal of wood and wood products 2006 Aug 1;64(4):327–337.

[34] van Hees P, Andersson P, Hjohlman M, Wenne N, Hassan MA. Use of the Cone Calorimeter and ConeTools software for development of innovative intumescing graphite systems. Fire and materials 2010 Nov;34(7):367–384.

[35] Van Hees P, Axelsson J. Modelling of Euroclass Test Results by Means of the Cone Calorimeter. Multifunctional Barriers for Flexible Structure Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. p. 215–226.

[36] Hakkarainen T, Kokkala MA. Application of a one-dimensional thermal flame spread model on predicting the rate of heat release in the SBI test. Fire and Materials 2001 Mar;25(2):61–70.

[37] Steen-Hansen A, Kristoffersen B. Prediction of fire classification for wood based products. A multivariate statistical approach based on the cone calorimeter. Fire and materials 2007 Apr;31(3):207–223.

[38] Fang Y, Chen K, Xu L, Zhang Y, Xiao Y, Yuan Y, et al. Advances in Wood Processing, Flame-Retardant Functionalization, and Multifunctional Applications. Polymers 2025 Oct 3;17(19):2677.

[39] Albert CM, Liew KC. Recent development and challenges in enhancing fire performance on wood and wood-based composites: A 10-year review from 2012 to 2021. Journal of Bioresources and Bioproducts 2024 Feb 1;9(1):27–42.

[40] European Chemicals Agency (ECHA). Candidate List of substances of very high concern for Authorisation. Available at: https://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/dislist/details/0b0236e1807d9b69?_disslists_WAR_disslistsportlet_businessIdentifier=0b0236e1807d9b69. Accessed 30 August, 2026.

[41] Štefko T, Wachter I, Martinka J, Rantuch P, Kaynak E, Das O. Evaluating and improving the fire performance of radiative cooling balsa wood. Construction & building materials 2025 Oct 17;495:143705.

[42] Wang K, Meng D, Wang S, Sun J, Li H, Gu X, et al. Impregnation of phytic acid into the delignified wood to realize excellent flame retardant. Industrial crops and products 2022 Feb;176:114364.

[43] Kim I, Ross L, Alfredsen G, Karlsson O, Kaynak E, Das O, et al. Enhancement of Biological Durability and Fire Safety in Wood Modified with Maleic Anhydride and Sodium Hypophosphite. Forests 2025 Mar 16;16(3):526.

[44] Zhang A, Xia L, Li X, Qing Y, Wu Y. In-situ synthesized phosphorus–boron–magnesium hybrid flame retardants with core-shell structures in wood microstructures: An effective strategy for realizing durable fire retardancy, smoke suppression, and anti-degradation. Composites. Part B, Engineering 2024 Aug 15;283:111630.

[45] Lin C, Karlsson O, Myronycheva O, Das O, Mensah RA, Mantanis GI, et al. Phosphorylated and carbamylated Kraft lignin for improving fire- and biological-resistance of Scots pine wood. International journal of biological macromolecules 2024 Sep 1;276(Pt 1):133734.

[46] Wachter I, Kvorková V, Rantuch P, Štefko T, Martinka J, Blinová L, et al. Catalytic heat treatment of wood for enhanced fire and leach resistance. Case Studies in Construction Materials 2026 Jul 1;24:e06017.

[47] Luan Y, Fang C, Ma Y, Fei B. Wood mechanical densification: a review on processing. Materials and manufacturing processes 2022 Mar 12;37(4):359–371.

[48] Pertuzzatti A, Missio AL, Cademartori PHG, Santini EJ, Haselein CR, Berger C, et al. Effect of Process Parameters in the Thermomechanical Densification of Pinus elliottii and Eucalyptus grandis Fast-growing Wood. Bioresources 2018 Feb 1;13(1).

[49] Scharf A, Švajger Č, Lin C, Humar M, Sandberg D, Jones D. Effect of fire-retardant treatment of wood prior to thermo-mechanical densification. Wood material science and engineering 2024 May 3;19(3):790–793.

[50] Fan C, Gao Y, Li Y, Yan L, Zhu D, Guo S, et al. A flame-retardant densified wood as robust and fire-safe structural material. Wood Sci Technol 2023 Jan;57(1):111–134.

[51] Östman BA-, Tsantaridis LD. Durability of the reaction to fire performance of fire-retardant-treated wood products in exterior applications - a 10-year report. International Wood Products Journal 2017 Apr 3;8(2):94–100.

[52] SIS SSI. SS-EN 16755:2017: Durability of reaction to fire performance – Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications. 2017 -10-30.

8. AUTHOR BIOGRAPHIES

Elif Kaynak holds a PhD in Chemical Engineering and works at Luleå University of Technology, Sweden, in the research subject of Fire Technology. Her research focuses on fire safety and flame-retardant materials, spanning polymers, composites, textiles, and wood. Her work combines material development, fire testing, and thermal characterization to understand and improve material fire performance. Her current research explores fire-retardant wood and sustainable material solutions, with a broader interest in advancing fire-safe materials for the built environment.

Oisik Das is an Associate Professor in the research subject of Fire Technology at Luleå University of Technology, Sweden. His research focuses on the fire behaviour of polymeric composites and wood, biochar and biocarbon materials, and sustainable fire-retardant solutions. His work spans biochar production and applications, composite design and processing, fire testing, and the development of sustainable materials. He has extensive international research and teaching experience across Sweden, New Zealand, Singapore, and India.

EFFECT OF NATURAL AGEING ON THE REACTION-TO-FIRE PERFORMANCE OF FIRE-RETARDANT-TREATED TIMBER

COSKUN YARAR
Etik Engineering Consultancy, Design and Training Services Inc.
International Master of Science in Fire Safety Engineering (IMFSE)

ABSTRACT

The use of timber façade claddings is increasing alongside the wider adoption of sustainable construction practices. However, because timber is combustible, fire-retardant-treated (FRT) products are commonly used in façade applications. In Europe, reaction-to-fire classification of façade products is largely based on the Single Burning Item (SBI) test specified in EN 13823. Nevertheless, uncertainty remains regarding the long-term fire performance of FRT timber products exposed to natural outdoor conditions. This study experimentally investigates the influence of natural ageing on the reaction-to-fire behaviour of FRT timber façade claddings.

Three groups manufactured using the same timber species and fire-retardant system were examined: unaged reference specimens, naturally aged specimens subjected to sheltered exposure, and aged specimens subjected to more severe outdoor exposure. The experimental programme included nine medium-scale corner fire tests based on EN 13823 principles. In the first stage, the timber boards were installed without intentional gaps. In the second stage, configurations representing the horizontal joints created by concealed façade fixings were tested.

In addition, 36 cone calorimeter tests were conducted in accordance with ISO 5660-1 at incident heat fluxes of 30, 40, and 50 kW/m². As partial loss of the surface coating was observed on some severely exposed specimens, this group was subdivided into specimens with coating loss and specimens with intact coating for cone calorimeter testing.

The findings show that natural ageing affects fire growth, total heat release, and configuration-dependent fire development. Aged specimens generally produced higher heat release rates and fire growth indices than unaged specimens. The results also demonstrate that coating condition and façade joint geometry can materially influence the measured response.

Key words: fire-retardant-treated timber, natural ageing, façade fires, EN 13823, ISO 5660-1, EN 16755, cone calorimeter, heat release rate, reaction-to-fire performance

SUMMARY

Timber claddings offer sustainability benefits but require reliable fire performance throughout their service life. The present study used specimens removed from an existing façade in İzmir, Türkiye, after approximately 14-18 months of natural exposure. Unaged reference specimens (UA), sheltered aged specimens (A), and fully exposed aged specimens (B) were examined. The B group was further separated into coating-lost (B1) and coating-intact (B2) specimens in the cone calorimeter programme. Nine SBI-like medium-scale corner tests and 36 cone calorimeter tests were completed. The medium-scale results showed increasing HRR, THR, and FIGRA with exposure severity. Cone tests showed shorter ignition times and higher peak and sustained heat release for aged specimens. The coating-intact B2 group had the highest derived FPI, indicating that the coating did not preserve performance under the investigated conditions. Correlation between cone-derived and medium-scale FIGRA values was strongest at 50 kW/m². These findings highlight the importance of realistic ageing assessment, fire-retardant chemistry, coating properties, and end-use façade details.

INTRODUCTION

Timber is increasingly used in façades because it is renewable, stores carbon, and can offer lower embodied energy than many conventional materials. Its combustibility nevertheless creates an important fire safety challenge, particularly in ventilated façade systems where cavities and joints may support rapid vertical fire spread. Fire-retardant treatments are used to reduce ignitability, heat release, and flame spread; however, their effectiveness may not remain constant when products are exposed to moisture, rainfall, solar radiation, and temperature variations [1,2].

EN 16755 addresses the durability of the reaction-to-fire performance of FRT wood products intended for interior and exterior use [2]. Accelerated weathering is frequently adopted because it produces results within a relatively short period. However, laboratory cycles may not fully reproduce the combined effects of wetting and drying, ultraviolet exposure, temperature changes, and gradual alteration of surface coatings under actual service conditions [6-9]. Testing naturally aged material removed from an existing building therefore provides direct evidence of long-term behaviour.

The primary research question was whether approximately 14-18 months of natural exposure measurably altered the reaction-to-fire behaviour of FRT timber produced using the same wood species, treatment, and coating system. The study also examined the influence of façade joints and rear cavities in medium-scale tests and explored the relationship between cone calorimeter results and medium-scale FIGRA values. The objective was comparative research rather than formal product classification.

SPECIMENS AND NATURAL EXPOSURE

The timber claddings were obtained from an existing building in İzmir, Türkiye. The façade comprised horizontal fire-retardant-treated pine boards. The product was declared as Euroclass B in accordance with EN 13501-1 and suitable for exterior use under EN 16755. The aged specimens had remained on the building for approximately 14-18 months. Unaged reference material was supplied by the manufacturer with the same treatment and surface coating.

Group A was removed from an internal courtyard beneath a roof. This area was sheltered from direct rainfall and received limited solar exposure. Group B was removed from an external façade without a canopy and was exposed directly to rain and sunlight. Partial loss of the surface coating was observed within Group B. The cone calorimeter specimens were therefore separated into B1, where the coating had been lost, and B2, where it remained intact. This separation was not possible in the medium-scale tests because of the larger amount of material required.



Figure 1. Façade areas from which Group A (sheltered, left) and Group B (fully exposed, right) specimens were removed.

Table 1. Test matrix for medium scale corner tests.

Tests	Samples	Configuration
1–6	UA, A, B	▪ Closed cavity at wing ends; top and bottom open ▪ With long wing and short wing based on EN 13823
7–9	UA, A, B	▪ Closed cavity at wing ends; additionally horizontal barrier at the top, bottom and middle of setup ▪ With two short wings (due to limited sample) ▪ Concealed fastener gaps introduced between boards

Table 2. Test matrix for cone calorimeter tests.

Sample category	Heat flux (kW/m²)	Replicates	Total tests
UA (Unaged)	30 / 40 / 50	3	9
A (less severely exposed)	30 / 40 / 50	3	9
B1 (more severely exposed – coating lost)	30 / 40 / 50	3	9
B2 (more severely exposed – coating remained intact)	30 / 40 / 50	3	9
		Total	36

Meteorological records indicated a generally dry exposure period, but with intermittent heavy rainfall, high summer solar radiation, and a seasonal temperature range approaching 50 °C. Given the hygroscopic nature of wood, these conditions were considered sufficient to produce repeated moisture cycling and to contribute to migration or leaching of fire-retardant chemicals.

EXPERIMENTAL METHOD

Medium-scale corner tests

Nine corner tests were conducted at the Lund University Fire Laboratory using the geometry and measurement principles of EN 13823 [4]. The specimens were mounted on approximately 12 mm calcium silicate boards with a ventilated cavity behind the timber. A sandbox propane burner was positioned at the corner with a target heat release rate of 30.7 ± 2.0 kW. Heat release rate was determined by oxygen consumption calorimetry; total heat release and FIGRA were calculated from the HRR data. Flame spread and cavity temperatures were also monitored.

In the first six tests, Groups UA, A, and B were each tested twice without intentional horizontal gaps between boards. In the final three tests, gaps representing the concealed fixing detail of the façade were introduced. Owing to limited remaining material, a research configuration with two short wings was used in these tests. Smouldering occurred in combustible studs supporting the backing board during some tests; consequently, the comparative analysis focused on the first 600 s of specimen exposure.

Although the arrangement followed the principal geometric and thermal features of the SBI method, the tests were not performed in an accredited classification facility. Some dimensional tolerances and test durations also differed from EN 13823. The outcomes are therefore described as SBI-like research results and must not be interpreted as formal EN 13501-1 classifications.

Cone calorimeter tests

A total of 36 specimens, nominally 100 × 100 mm, were tested horizontally in accordance with ISO 5660-1 [5]. Three replicates from each of the UA, A, B1, and B2 groups were exposed at 30, 40, and 50 kW/m². The principal measured variables were time to ignition (TTI), heat release rate (HRR), peak heat release rate (pHRR), and total heat release. Thermal Response Parameter (TRP) and Fire Propagation Index (FPI) values were derived from the TTI and pHRR data.

All specimens were conditioned in accordance with EN 13238 at 23 ± 2 °C and 50 ± 5% relative humidity until constant mass was achieved [15]. Constant mass was verified by two weighing 24 h apart with a difference below 0.1%. Two suspected outliers were excluded from the reported means. Variations in sapwood-heartwood proportion, profile geometry, and local coating thickness were recognised as sources of experimental scatter.

RESULTS

Medium-scale test results

The aged groups generally produced higher HRR, THR, and FIGRA values than the unaged specimens. In the no-gap configurations, the HRR of the UA specimens remained relatively stable until approximately 900 s, whereas Groups A and B showed earlier and more pronounced increases when flames penetrated through joints into the rear cavity. In the intentionally gapped configurations, fire entered the cavity during the early stage and produced higher HRR from the first minutes in most groups.

Flames generally did not pass the midpoint of the long wing in the first six tests, and full-surface flame spread was not observed. Nevertheless, the more pronounced temperature increase at the lower and upper corner thermocouples after approximately 250 s in Groups A and B indicated that deformation and unintended openings in the aged boards facilitated fire development within the cavity.

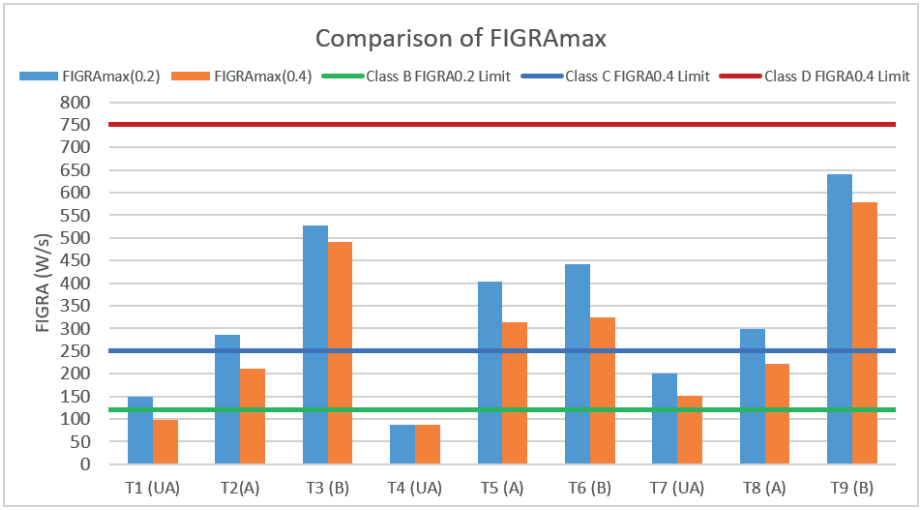


Figure 2. Comparison of FIGRA values calculated from the medium-scale corner tests.

Table 3. Approximate reaction-to-fire classes derived from the medium-scale results.

Sample	Test	FIGRA0.2	FIGRA0.4	THR600 (MJ)	Class
UA (Unaged)	Test 1	149	97	4,80	C
UA (Unaged)	Test 4	87	87	4,40	B
UA (Unaged)	Test 7	201	150	6,60	C
A (Less Severely Exposed)	Test 2	286	211	7,40	C
A (Less Severely Exposed)	Test 5	403	314	8,70	D
A (Less Severely Exposed)	Test 8	298	223	13,40	C
B (More Severely Exposed)	Test 3	528	492	9,70	D
B (More Severely Exposed)	Test 6	443	325	14,40	D
B (More Severely Exposed)	Test 9	640	578	15,10	D

Note: The classes are comparative interpretations of FIGRA and THR only. As the tests were not accredited classification tests, these results must not be used as a product classification.

The UA specimens satisfied the Class B THR_{600} criterion, while their FIGRA values lay close to the B-C boundary. Group A was around the C-D boundary, whereas all three Group B tests were approximately Class D. The highest FIGRA and THR_{600} values were measured for the fully exposed, gapped Group B configuration (T9), indicating increased fire growth potential with exposure severity.

Cone calorimeter results

The aged specimens generally ignited sooner and produced higher pHRR values. At 50 kW/m², the mean TTI and pHRR were 17.0 s and 97.5 kW/m² for UA, 10.7 s and 178.3 kW/m² for B1, and 8.3 s and 157.0 kW/m² for B2. At 30 kW/m², mean TTI was 106.5 s for UA, compared with 55.7 s, 32.7 s, and 59.0 s for A, B1, and B2, respectively. The HRR curves further showed that ageing affected not only the initial peak but also the sustained burning phase.

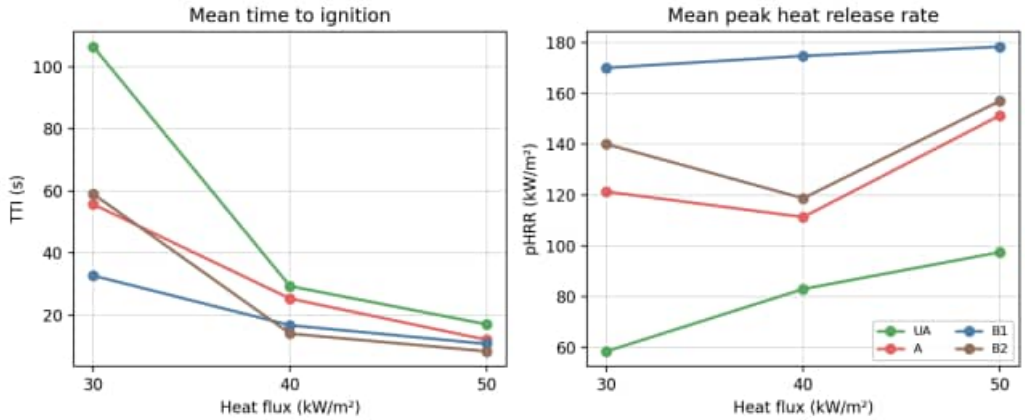


Figure 3. Mean TTI and pHRR results from the cone calorimeter tests.

TRP-FPI evaluation and coating effect

The calculated TRP values for UA, A, B1, and B2 were 155, 146, 168, and 105, respectively; the corresponding FPI values were 29, 37, 35, and 53. Because lower FPI indicates better performance, UA performed best and the severely aged, coating-intact B2 group performed worst. The higher FPI of B2 than B1 suggests that the coating did not preserve performance under the investigated conditions and may have influenced fire growth through changes in surface optical or thermal properties [12,13]. However, coating type, colour, thickness, and fire-retardant retention were not independently controlled; a definitive causal relationship therefore cannot be established.

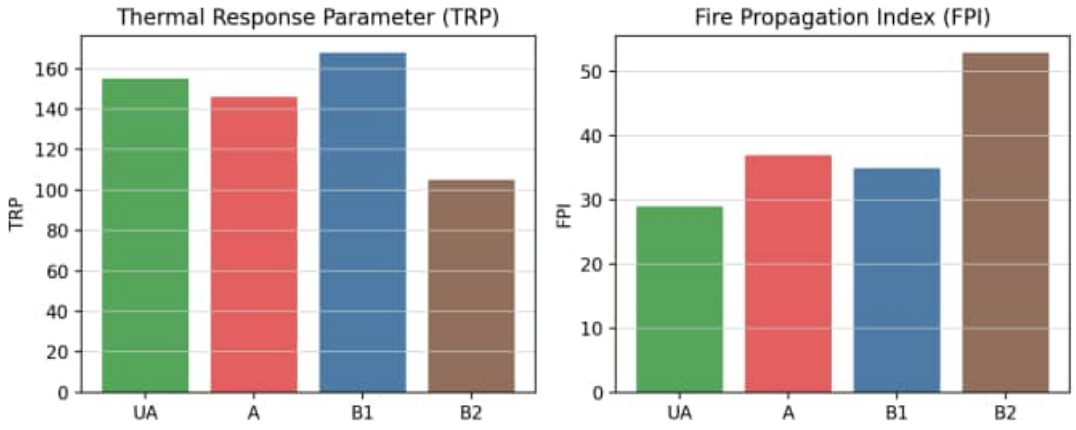


Figure 4. Calculated TRP and FPI values for the specimen groups.

RELATIONSHIP BETWEEN SMALL- AND MEDIUM-SCALE TESTS

Cone-derived FIGRA values were compared with medium-scale $FIGRA_{0.2}$ and $FIGRA_{0.4}$ by linear regression. High coefficients of determination were obtained for all configurations, with the most stable relationships at 40 and 50 kW/m². At 50 kW/m², R^2 was approximately 0.984-0.986 for the no-gap configuration and 0.914-0.950 for the gapped configuration. This agrees with previous work indicating that cone data at 50 kW/m² can provide a useful screening indicator of SBI-like fire growth for wood-based products [10].

The regression slopes nevertheless changed between the gapped and no-gap arrangements. The cone calorimeter examines a small surface under uniform radiant exposure, whereas the corner tests include direct flame contact, penetration through joints, rear-cavity flow, deformation, and interaction between two wings. The strong correlations must therefore not be interpreted as evidence that cone data alone can predict façade-system classification.

DISCUSSION

The results indicate that natural ageing reduced the reaction-to-fire performance of the FRT timber. Both the cone calorimeter and medium-scale corner tests showed that the aged samples generally produced higher heat release rates and greater fire-growth potential than the unaged samples. This deterioration was more evident after severe exposure, suggesting that prolonged weathering may cause the migration, redistribution and gradual loss of fire-retardant chemicals within the timber [1,6,9]. The findings are consistent with previous studies demonstrating that water-soluble fire-retardant systems may lose effectiveness under exterior exposure, whereas polymer-based systems can provide better resistance to leaching [1,7-8,14].

The results also show that fire behaviour was influenced not only by ageing severity but also by the surface coating. Among the severely aged samples, the coating-intact specimens exhibited higher FPI values than the specimens from which the coating had been lost. However, the coating effect could not be isolated from other factors, including surface colour, coating condition and variations in wood structure [8,12-13]. Cone-calorimeter-derived FIGRA values showed the strongest agreement with the medium-scale results at 50 kW/m², supporting the use of this heat flux for predicting SBI-related behaviour [10]. Nevertheless, the results should be interpreted considering the limitations of small- and medium-scale testing, including specimen geometry, ventilation conditions and the absence of large-scale flame interactions [11,16-17].

CONCLUSION

Natural exposure for approximately 14-18 months caused measurable deterioration in the reaction-to-fire performance of the investigated FRT timber façade product. Aged groups generally produced higher HRR, THR, and FIGRA.

The approximate medium-scale classes ranged from B-C for UA and C-D for A to D for the more severely exposed B group. These are comparative research outcomes, not formal product classifications.

Aged specimens generally showed shorter ignition times and higher pHRR in cone calorimeter testing. The increase during sustained burning indicates that fire-retardant effectiveness may decrease within the material as well as at the surface.

The coating-intact B2 group had a higher FPI than the coating-lost B1 group. The coating did not preserve performance under the investigated conditions, although its independent effect requires controlled tests.

Cone-derived and medium-scale FIGRA values showed good correlation, particularly at 50 kW/m². Façade assessment must nevertheless consider joints, cavities, and deformation separately.

For exterior FRT timber, resistance to leaching, coating properties, realistic long-term ageing, and end-use installation details should be assessed together. Future work should include different chemical and coating systems, longer exposures, and large-scale ventilated façade tests.

REFERENCES

[1] Östman, B., Voss, A., Hughes, A., Hovde, P.J., Grexa, O. Durability of fire retardant treated wood products at humid and exterior conditions: review of literature. Fire and Materials, 25(3), 95-104, 2001.

[2] EN 16755:2017. Durability of reaction to fire performance - Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications.

[3] EN 13501-1:2019. Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.

[4] EN 13823:2020+A1:2022. Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item.

[5] ISO 5660-1:2015+A1:2019. Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method).

[6] White, R. Accelerated weathering of fire-retardant-treated wood for fire testing, 2009.

[7] Östman, B., Tsantaridis, L. Durability of the reaction to fire performance for fire retardant treated wood products in exterior applications - a ten years report. MATEC Web of Conferences 46, 05005, 2016.

[8] Harada, T., Matsunaga, H., Kataoka, Y., Kiguchi, M., Matsumura, J. Weatherability and combustibility of fire-retardant-impregnated wood after accelerated weathering tests. Journal of Wood Science, 55(5), 359-366, 2009.

[9] Wilkens, K., Johansson, N., Engström, F., Psajd, H. Fire performance of impregnated wood subjected to natural aging in the Swedish climate.

[10] Tsantaridis, L., Östman, B. Cone calorimeter data and comparisons for the SBI - wood products.

[11] Duny, M., Boström, L., Dhima, D., Garo, J.P., Wang, H.Y. Impact of the ventilated air gap on fire propagation along wooden façade - an experimental study.

[12] Staggs, J., Phylaktou, H., McCreadie, R. The effect of paint on the ignition resistance of plywood and chipboard. Fire Safety Science, 7, 617-628, 2003.

[13] Simms, D.L. Ignition of cellulosic materials by radiation. Combustion and Flame, 4(4), 293-300, 1960.

[14] Engström, F., Psajd, H. Durability of fire-impregnated wood. Master's Thesis, Lund University, 2024.

[15] EN 13238:2010. Reaction to fire tests for building products - Conditioning procedures and general rules for selection of substrates.

[16] Hull, T.R. Challenges in fire testing: reaction to fire tests and assessment of fire toxicity. In: Advances in Fire Retardant Materials. Elsevier, pp. 255-290, 2008.

[17] Messerschmidt, B. The capabilities and limitations of the Single Burning Item (SBI) test.

CURRICULUM VITAE

Coskun Yarar was born in İzmir, Türkiye, in 1987. He completed his bachelor's degree in mechanical engineering at Istanbul Technical University in 2012, where his final thesis focused on water mist suppression systems in highway tunnels.

Since graduation, he has been working at Etik Engineering, a consultancy firm specialising in fire and life safety, where he serves as a shareholder and consultant.

In 2026, he completed the International Master of Science in Fire Safety Engineering (IMFSE) program. His degree project within the IMFSE programme focused on the long-term fire performance of fire-retardant-treated timber façades under natural ageing conditions.

AHŞAP MALZEMENİN TAŞIYICI SİSTEM, ÇATI-CEPHE SİSTEMLERİ VE İÇ MEKAN KAPLAMASINDA KULLANIMINA DAİR MEVZUAT GEREKLİLİKLERİNİN TÜRKİYE YANGIN YÖNETMELİĞİ İLE NFPA KOD VE STANDARTLARI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Betül YAYGIR

ÖZET

Doğası gereği yanıcı fakat yangına dayanıklı bir malzeme olan ahşap malzeme, binalarda belli yanıcılık sınıfı ve yangın dayanım sürelerini sağladıkları takdirde kullanılabilmektedir. Ahşap malzemenin binalarda kullanımı ile alakalı yangın yönetmeliği hükümleri ise ülkeden ülkeye farklılık gösterilmektedir. Ahşap malzemenin binaların taşıyıcı sisteminde, çatı-cephe sistemlerinde ve iç mekân kaplama malzemelerinde kullanılması söz konusu olduğunda Türkiye Yangın Yönetmeliği ile NFPA Kod ve Standartları'nın farklı yaklaşımlarda bulunduğu görülmektedir. Ahşap malzemenin binalarda kullanımına dair belirtilen mevzuat kriterleri kıyaslandığında NFPA'in ahşap malzeme kullanımında Türkiye Yangın Yönetmeliği'nden daha esnek bir yaklaşıma sahip olduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda Türkiye Yangın Yönetmeliği'nde ahşap malzeme kullanımına dair halihazırda yer alan hükümlerin NFPA'e kıyasla ne düzeyde uygulanabilir olduğunun tartışılması ve ahşap malzeme kullanımının yaygınlaştırılması adına Türkiye Yangın Yönetmeliği'ne girebilecek öneri tasarım kriterlerinin belirlenebilmesi önemli görülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye Yangın Yönetmeliği'nde ahşap binalara dair yer alan hükümler ile NFPA Kod ve Standartları'nda yer alan hükümler hakkında bilgi verilmekte ve hükümlerin karşılaştırmalı olarak bir değerlendirilmesi yapılmaktadır

Anahtar sözcükler: Ahşap binalar, ahşap çatı sistemleri, ahşap cephe sistemleri, ahşap iç mekân kaplama malzemeleri, yangın dayanım süresi, yanıcılık sınıfı

EVALUATION OF REGULATORY REQUIREMENTS REGARDING THE USE OF TIMBER IN STRUCTURES, ROOF-FACADE SYSTEMS, AND INTERIOR FINISHES IN COMPLIANCE WITH THE TURKISH FIRE CODE AND NFPA CODES AND STANDARDS

ABSTRACT

Timber, a material that is inherently flammable yet fire-resistant, may be used in buildings provided it meets specific flammability classes and fire resistance ratings. Regulations governing the use of timber in buildings vary across countries. Notably, the Turkish Fire Code and the NFPA Codes and Standards adopt differing approaches regarding the use of timber in structural systems, roof and façade assemblies, and interior finishing materials. A comparison of the relevant regulatory frameworks indicates that the NFPA adopts a more flexible approach to timber use than the Turkish Fire Code. In this context, it is essential to evaluate the applicability of the existing provisions in the Turkish Fire Code in comparison with NFPA standards and to propose design criteria that could be incorporated into the Turkish Fire Code to support the broader use of timber.

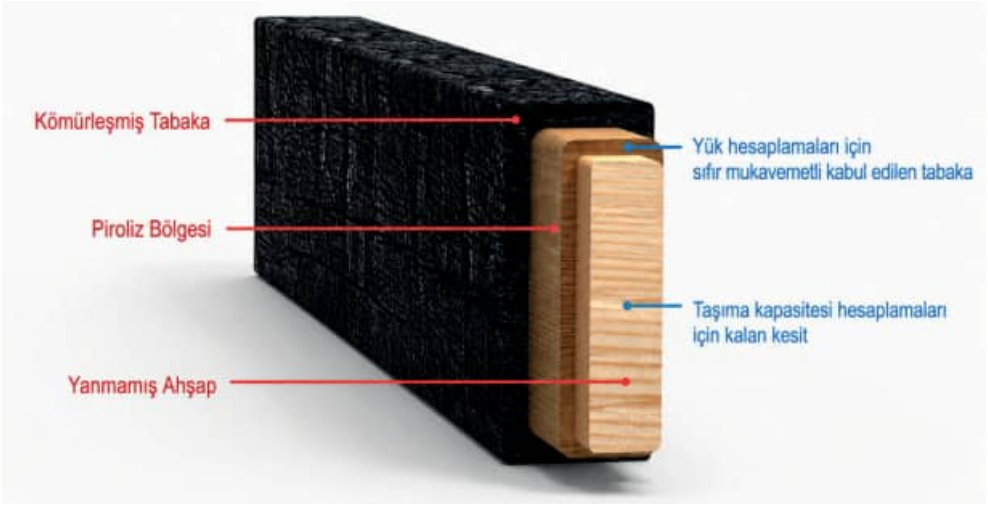
This study presents an overview of the provisions related to timber buildings in the Turkish Fire Code and the NFPA Codes and Standards, and provides a comparative assessment of these provisions.

Key words: Timber buildings, timber roofing systems, timber facade systems, timber interior cladding materials, fire resistance rating, flammability class

1. GİRİŞ

Çevresel problemlerin artması sonucu inşaat sektöründe daha sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu doğal yapı malzemeleri tercih edilmeye başlamıştır. Geleneksel bir yapı malzemesi olarak görülen ahşabın performansını artırmaya yönelik çalışmalar sonucu ahşap yapı endüstrisindeki gelişmeler ile birlikte ahşap yapısal ürünlerde ve yapım tekniklerinde ilerlemeler kaydedilmiştir. Mühendislik ürünü olan glulam (GLT), çapraz lamine ahşap (CLT) gibi endüstriyel ahşap malzemelerin geliştirilmesiyle ahşap malzemenin gerek taşıyıcı sistemde gerekse cephe, çatı ve iç mekan kaplama malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşmıştır.

Yanabilen bir malzeme olan ahşap, doğası gereği aynı zamanda yangına dayanım da sağlayabilen bir malzemedir. Yangın esnasında ahşap malzemenin alevle temas eden yüzeyleri karbon bakımından zengin bir kömür tabakası oluşturmaktadır (Şekil 1). Bu kömür tabakası ahşabın yanmayan kısmı ile ortamdaki oksijen arasında bir bariyer oluşturduğu için oksijenin kesintiye uğratılmasıyla yangının kesit yüzeyi boyunca içeriye doğru ilerlemesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle ahşap, yangın karşısında kendi doğal yalıtımını oluşturarak yangına karşı dayanım sağlayabilmektedir [1].



Şekil 1. Yangına maruz kalan ahşap yapısal elemanda kömürleşme tabakası oluşumu [2]

Ahşabın yangın karşısındaki performansının geliştirilmesi için yapılan yangın testleri sonucu elde edilen bulgular standartlaştırılarak tasarım kriteri olarak mevzuatlara yansıtılmaktadır. Yapılarda yangın güvenliğinin istenilen düzeyde sağlanabilmesi için ahşap malzemenin yapı içerisinde kullanıldığı yere göre mevzuatlarda belirtilen gerekliliklere uygunluk sağlanmalıdır. Ahşabın taşıyıcı sistemde ya da çatı, cephe, iç mekân kaplama malzemesi olarak kullanılması söz konusu olduğunda ulusal/uluslararası yangın yönetmelik, kod ve standartları farklı tasarım kriterleri ortaya koyabilmektedir.

Bu çalışmada ahşap malzemenin taşıyıcı sistem, çatı-cephe sistemleri ve iç mekan kaplamasında kullanımına dair Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)'te ve Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA) kod ve standartlarında yer alan tasarım kriterleri ele alınmakta ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

2. AHŞAP MALZEMENİN TAŞIYICI SİSTEMDE KULLANIMI

Ahşap malzemenin taşıyıcı sistemde kullanımına dair BYKHY ve NFPA 5000'deki tasarım kriterlerine bakıldığında, taşıyıcı sistemde ahşap malzemenin kullanılabildiği yapıların belli bir yapı tipi sınıfı altında ele aldığında ve taşıyıcı sistemine dair yangına dayanım gerekliliklerin bu yapı tipleri doğrultusunda oluşturulduğu görülmektedir. Öte yandan BYKHY'te ise bu tür bir yapı tipi sınıflandırması bulunmamakta ve taşıyıcı sistemde kullanılan ahşap elemanlar için yalnızca, yanma hızının 0.6 ilâ 0.8 mm/dk kabul edilerek ahşap elemanların kesitinin hesaplanmasına ve tarihi binalardaki taşıyıcı kolonların yangına karşı en az 90 dk yalıtımına dair maddeler yer almaktadır [3].

NFPA 5000'de ise yapı tipleri, sahip oldukları yapı elemanlarının yangın direncine ve yapı elemanlarında kullanılan malzemelerin yanıcılıklarına **göre tanımlanmakta; b**inanın alanı, yüksekliği ve kullanım amacına göre Tip I, Tip II, Tip III, Tip IV ve Tip V olmak üzere beş farklı **şekilde sınıflandırılmaktadır.** Tip I ve Tip II yapılarda yapısal elemanlar için yanmaz ya da zor yanıcı (limited-combustible) malzemeler kullanıldığı için bu yapı tipleri, ahşap gibi yanıcı malzemelerin kullanılabildiği Tip III, Tip IV ve Tip V yapı tiplerine kıyasla daha yüksek ve daha büyük inşa edilebilmektedir. Dolayısıyla yapı alanı ve yükseklik arttıkça yapının yangına dayanıklılığı da artmaktadır [4].

Yapı tipi sınıfı bir yapının kullanım amacına, yüksekliğine, kat sayısına, alanına ve sprinkler sistem ile korunup korunmamasına bağlı olarak Tablo 1'den belirlenmektedir. Söz konusu tabloya göre Tip III ve Tip IV yapılar en fazla 6 kata ve 26 m yüksekliğe, Tip V yapılar ise en fazla 5 kata ve 21 m **yüksekliğe** kadar inşa edilebilmektedir [4].

Tablo 1. NFPA 5000 – Yapı tipi sınıfına göre izin verilen yükseklik (ft) ve alan (ft²) [4]

Yapı Türü	TİP I				TİP II						TİP III				TİP IV		TİP V			
	442		332		222		111		000		211		200		2HH		111		000	
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Azami Bina Yüksekliği (ft)	UL	UL	420	400	180	160	85	65	75	55	85	65	75	55	85	65	70	50	60	40
KULLANIM AMACI																				
Toplanma amaçlı >1000 kişi	UL	4	UL	4	12	4	3	2	1	NP	3	2	NP	NP	3	2	3	2	NP	NP
	UL		UL		UL		15,500		8,500		14,000		NP		15,000		11,500		NP	
Toplanma amaçlı >300 kişi	UL	4	UL	4	12	4	4	3	2	1	4	2	1	1	4	2	4	2	1	1
	UL		UL		UL		15,500		8,500		14,000		8,500		15,000		11,500		5,500	
Toplanma amaçlı ≤300 kişi	UL	7	UL	7	12	7	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	4	3	2	1
	UL		UL		UL		15,500		8,500		14,000		8,500		15,000		11,500		5,500	
Toplanma amaçlı, açık hava	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	4	3	3	2	4	3	3	2	2	1
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
İş yeri	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	6	5	5	4	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		UL		37,500		23,000		28,500		19,000		36,000		18,000		9,000	
Bakım ve yatılı bakım, büyük	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	2	NP	2	NP	1	NP	2	NP	2	NP	1	NP
	UL		UL		55,000		19,000		10,000		16,500		10,000		18,000		10,500		4,500	
Bakım ve yatılı bakım, küçük	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		24,000		16,000		16,000		24,000		16,000		20,500		12,000		7,000	
Gündüz bakımı	UL	2	UL	2	12	2	6	1	4	1	2	1	2	1	2	1	4	3	2	1
	UL		UL		60,500		26,500		13,000		23,500		13,000		25,500		18,500		9,000	
Gözaltı ve ıslah	UL	7	UL	7	12	7	2	2	2	NP	2	2	2	NP	2	2	2	2	2	NP
	UL		UL		UL		15,000		10,000		10,500		7,500		12,000		7,500		5,000	
Eğitim	UL	UL	UL	UL	12	5	4	3	2	1	4	3	3	2	4	3	2	3	2	1
	UL		UL		26,500		14,500		23,500		14,500		25,500		25,500		18,500		9,500	
Sağlık hizmeti	UL	NP	UL	NP	12	NP	3	NP	1	NP	1	NP	NP	NP	1	NP	1	NP	NP	NP
	UL		UL		15,000		11,000		12,000		NP		12,000		9,500		9,500		NP	
Sağlık hizmeti, ayakta tedavi	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	1	6	5	5	1	6	5	4	3	3	1
	UL		UL		37,500		23,000		28,500		19,000		19,000		36,000		18,000		9,000	
Endüstriyel, orta tehlike	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	3	2	4	3	3	2	5	4	3	2	2	1
	UL		UL		25,000		15,500		19,000		12,000		12,000		33,500		14,000		8,500	
Endüstriyel, düşük tehlike	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	4	3	5	4	4	3	6	5	4	3	3	2
	UL		UL		37,500		23,000		28,500		18,000		10,000		50,500		21,000		13,000	
Ticari	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	2	1
	UL		UL		21,500		12,500		18,500		12,500		20,500		14,000		14,000		9,000	
Konut (apartman)	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		24,000		16,000		24,000		16,000		16,000		20,500		12,000		7,000	
Konut, 1 ve 2 ailelik	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	2
	UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL		UL	
Depolama, orta tehlike	UL	UL	UL	UL	12	11	5	4	4	3	4	3	4	3	5	3	4	3	2	1
	UL		UL		48,000		26,000		17,500		26,000		17,500		25,500		14,000		9,000	
Depolama, düşük tehlike	UL	UL	UL	UL	12	11	6	5	5	4	5	4	5	4	6	5	5	4	3	2
	UL		UL		39,000		26,000		39,000		26,000		36,000		38,500		21,000		13,500	

S: Sprinkler sistem ile korunan binalar
N: Sprinkler sistem ile korunmayan binalar
UL: Sınırsız
NP: İzin verilmez
1 ft = 0.3048 m; 1 ft² = 0.093 m²

Yapı tipine göre bir binada yapısal elemanların kaç saat yangına dayanım sağlaması gerektiği ise Tablo 2'de belirtilmektedir. Bir istisna olarak Tip IV yapı tipi sınıfında, taşıyıcı olan ya da olmayan iç ve dış duvarlar haricindeki yapı elemanları için belli bir yangın dayanım süresi belirtilmek yerine "H: heavy timber members (masif ahşap elemanlar)" yazılmıştır. Söz konusu "H" harfinin yer aldığı yapı elemanları için Tip IV yapıların açıklandığı bölümde sağlanması gereken minimum yapı elemanı boyutları belirtilmektedir [4].

Tablo 2. NFPA 5000 – Yapı tipi sınıfına göre yapı elemanlarının yangına dayanım süreleri [4]

Yapı Elemanı	Tip I		Tip II			Tip III		Tip IV	Tip V	
	442	332	222	111	000	211	200	2HH	111	000
Dış Taşıyıcı Duvarlar										
Birden fazla katı, kolonları veya diğer taşıyıcı duvarları taşıyan	4	3	2	1	0[b]	2	2	2	1	0[b]
Yalnızca bir katı taşıyan	4	3	2	1	0[b]	2	2	2	1	0[b]
Yalnızca çatıyı taşıyan	4	3	1	1	0[b]	2	2	2	1	0[b]
İç Taşıyıcı Duvarlar										
Birden fazla katı, kolonları veya diğer taşıyıcı duvarları taşıyan	4	3	2	1	0	1	0	2	1	0
Yalnızca bir katı taşıyan	3	2	2	1	0	1	0	1	1	0
Yalnızca çatıyı taşıyan	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0
Kolonlar										
Birden fazla katı, kolonları veya diğer taşıyıcı duvarları taşıyan	4	3	2	1	0	1	0	H	1	0
Yalnızca bir katı taşıyan	3	2	2	1	0	1	0	H	1	0
Yalnızca çatıyı taşıyan	3	2	1	1	0	1	0	H	1	0
Kirişler, Bağ Kirişleri, Makaslar ve Kemerler										
Birden fazla katı, kolonları veya diğer taşıyıcı duvarları taşıyan	4	3	2	1	0	1	0	H	1	0
Yalnızca bir katı taşıyan	2	2	2	1	0	1	0	H	1	0
Yalnızca çatıyı taşıyan	2	2	1	1	0	1	0	H	1	0
Döşeme/Tavan Sistemleri	2	2	2	1	0	1	0	H	1	0
Çatı/Tavan Sistemleri	2	1½	1	1	0	1	0	H	1	0
İç Taşıyıcı Olmayan Duvarlar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dış Taşıyıcı Olmayan Duvarlar[c]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]	0[b]

H: Ağır ahşap elemanlar *(gereklilikler için metne bakınız)*.

Ahşabın yapı elemanı olarak kullanılabildiği Tip III, Tip IV ve Tip V yapı tipi sınıfları **için** hangi yapı elemanlarında ahşap malzemenin kullanılabileceği **aşağıda açıklanmakta** ve bu açıklamalara dair yapı tiplerinin tipik temsili görünümleri **Şekil** 2'de gösterilmektedir.

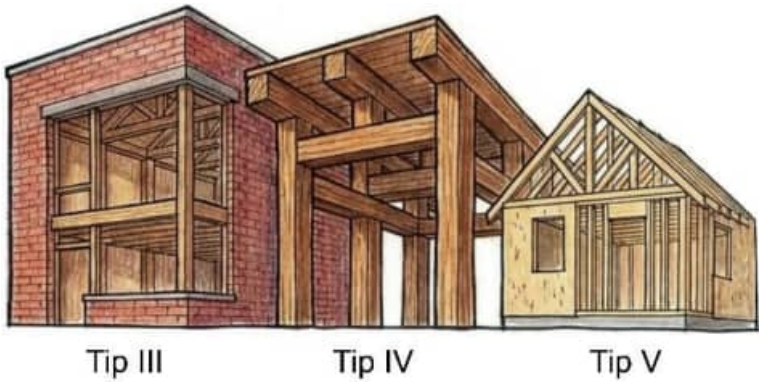
Tip III: Dış duvarlar ve dış duvarların bir parçasını oluşturan strüktürel elemanlar hariç diğer yapı elemanlarının **kısmen ya da tamamen ahşap malzemeden** olmasına izin verilir ve ahşap yapı elemanlarının boyutu Tip IV için gerekli olan boyutlardan daha küçüktür [4].

Tip IV (heavy timber/mass timber): Yangın duvarları, dış duvarlar (bazı istisnalar hariç) ve iç taşıyıcı duvarlar ile bu duvarların bir parçasını oluşturan strüktürel elemanlar hariç diğer yapı elemanlarının **kısmen ya da tamamen** solid ahşap, lamine ahşap ya da çapraz lamine ahşap malzemeden olmasına izin verilmektedir. Ahşap yapı elemanlarının boyutu daha büyük olduğu için küçük boyutlu kerestelere kıyasla yangına karşı stabilitelerini daha uzun süre koruyabilmektedir. Aynı zamanda çatı döşemelerinde (roof deck) de ahşap malzeme kullanılabilmektedir [4].

Tip IV yapı tipi sınıfında başka özel izinler de bulunmaktadır. NFPA 5000'e göre yatay ayrım mesafesi (dış cephesi ile bitişik mülkiyet sınırının ya da bitişik cadde/sokak/kamu yolunun orta noktası arasındaki mesafe veya aynı parseldeki bitişik binaların dış duvarları arasında çizilen hayali bir çizgi hattına olan mesafe) 6.1 m ya da daha fazlaysa ahşap kolon, kiriş ya da çatı döşemelerinin Tip IV (2HH) binalar için belirtilen minimum yapısal boyutlar sağlandığı sürece bina dışında kullanılmasına izin verilmektedir [4].

Bunun haricinde, Tip I (332) veya Tip II (222) için gerekli yangın dayanım sürelerine sahip masif ahşap yapı elemanları içeren Tip IV (2HH) yapılarda, ilave birtakım gerekliliklerin sağlanmasıyla (binanın sprinkler sistem ile korunması, bina yüksekliğinin sınırlandırılması vb.) bina yüksekliği ve kat sayıları artırılabilmektedir. Bu tür yapılarda, d**ış duvarlarda ü**zeri en az bir kat 16 mm'lik alçıpan ile kaplanmış masif ahşabın (mass timber) kullanılmasına izin verilmekte ve yatay ayrım mesafesi konusunda herhangi bir sınırlamada bulunulmamaktadır [4].

Tip V: Tüm yapı elemanlarının ahşap malzemeden olmasına izin verilmektedir [4].



Şekil 2. NFPA 5000'e göre Tip III, Tip IV ve Tip V yapılarının tipik görünümü [5]

BYKHY'te ise NFPA'de olduğu gibi herhangi bir yapı tipi sınıflandırması bulunmamaktadır. Yapı elemanlarının yangına dayanım sürelerini belirlemek için Ek-3B tablosundan (Tablo 3) yararlanılmakta ve Ek-3B tablosu içerisinde de Ek-3C tablosuna (Tablo 4) atıfta bulunarak yapının kullanım sınıfına, bodrum kat derinliğine, bina yüksekliğine ve sprinkler sistem ile korunup korunmamasına bağlı olarak yangına dayanım süreleri belirlenmektedir [3].

Tablo 3. BYKHY – Yapı elemanlarının yangına dayanım süreleri [3]

	Yapı Elemanı	Yangın Dayanım Süresi (dak)	Etkilenen Yüzey
1.	Taşıyıcı Sistem (çerçeve, kiriş veya kolon)	R Bkz. EK-3c	Etkilenen yüzeyler
2.	Yük Taşıyıcı Duvar (aşağıdaki maddelerde de açıklanmayan duvar)	R Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
3.	Döşemeler		
	a) İki katlı konutun ikinci katında (garaj veya bodrum kat üstü hariç)	REI 30	Alt yüzeyden
	b) Bir dükkân ve üstündeki kat arasında	REI 60 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	
	c) Kompartıman döşemeleri dahil her türlü diğer döşemeler	REI Bkz. EK-3c	
	d) Bodrum kat ile zemin kat arası döşeme	REI 90 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	
4.	Çatılar		
	a) Kaçış yolu teşkil eden her bölüm	REI 30	Alt yüzeyden
	b) Döşeme görevi yapan her türlü çatı	REI Bkz. EK-3c	
	c) Dıştan yangına maruz kalan çatılar (yük taşıyıcı değil)	EI Bkz. EK-3c	Dış yüzeyden
5.	Dış Duvarlar		
	a) Parsel sınırın herhangi bir noktasına 2 m.'den daha yakın her bölüm	REI Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
	b) Parsel sınırdan 2 m. veya daha uzak olan her bölüm	REI Bkz. EK-3c	Binanın iç yüzeyden
6.	Yangın Kompartıman Duvarları (Bina içindeki farklı kullanım işlevlerini birbirinden ayıranlar)	REI 60 veya Bkz. EK-3c (hangisi daha büyükse)	Ayrı ayrı her bir yüzey
7.	Yangın Kompartıman Duvarları (6 numarada belirtilenler dışındakiler)	REI Bkz. EK-3c	Ayrı ayrı her bir yüzey
8.	Korunumlu Şaftlar (korunumlu yangın merdiveni yuvaları ve acil durum asansör kuyuları hariç)	REI 120	Ayrı ayrı her bir yüzey
9.	Korunumlu Yangın Merdiveni Yuvaları, Acil Durum Asansörü Kuyuları ve Yangın Güvenlik Holü		
	a) Binanın geri kalanından ayıran duvar	REI 120	Binaya bakan yüzey
	b) Yangın merdiveni yuvası, acil durum asansör kuyusu ve yangın güvenlik holünü birbirinden ayıran duvar	REI 60	Ayrı ayrı her bir yüzey
10.	Yangın Kesici	EI 30	Ayrı ayrı her bir yüzey
11.	Asma Tavan	EI 30	Alt taraftan
12. (1)	Asansör Kat Kapıları		
	a) Yapı yüksekliği 51.50 m'den yüksek binalarda	E 60	Etkilenen yüzeyler
	b) Yapı yüksekliği 51.50 m'den alçak binalarda	E 30	Etkilenen yüzeyler

Tablo 4. BYKHY – Yapı kullanım sınıfına göre yapı elemanlarının yangına dayanım süreleri [3]

Bina Kullanım Sınıfları	Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Süreleri (dak)					
	Bodrum Katlar(1) (üstündeki döşeme dahil)		Giriş veya Üst Katlar			
	Bodrum Kat(ların) Derinliği*(m)		Bina Yüksekliği (m)			
	10 m'den fazla	10 m'den az	5 m'den az	21,50 m'den az	30,50 m'den az	30,50 m'den fazla
1. Konutlar a) Bir ve İki Ailelik Evler	---	30(2)	30	60	---	---
1. Konutlar b) Apartmanlar	90	60	30(2)	60	90	120
2. Konaklama Amaçlı Binalar						
- yağmurlama sistemi yok	90	60	60	60	90	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	60	60	30(2)	60	60	120(3)
3. Kurumsal Binalar						
- yağmurlama sistemi yok	90	60	60	60	90	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	90	60	30(2)	60	90	120(3)
4. Büro Binaları						
- yağmurlama sistemi yok	90	60	30(2)	60	90	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	60	60	30(2)	30(2)	60	120(3)
5. Ticaret Amaçlı Binalar						
- yağmurlama sistemi yok	90	60	60	60	90	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	60	60	30(2)	30(2)	60	120(3)
6. Endüstriyel Yapılar						
- yağmurlama sistemi yok	120	90	60	90	120	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	90	60	30(2)	60	90	120(3)
7. Toplanma Amaçlı Binalar						
- yağmurlama sistemi yok	90	60	60	60	90	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	60	60	30(2)	60	60	120(3)
8. Depolama Amaçlı Tesisler						
a) Depolar						
- yağmurlama sistemi yok	120	90	60	90	120	İzin verilmez
- yağmurlama sistemli	90	60	30(2)	60	90	120(3)
b) Otopark						
- açık otoparklar	---	---	15(2) (4)	15(2) (4)	15(2) (4)	60
- diğer otoparklar	90	60	30(2)	60	90	120(3)

* Binanın en alt bodrum kat döşemesi ile zemin kat döşemesi arasındaki mesafe.
(1) Bir bodrumun üstündeki döşeme (veya birden fazla bodrum var ise en üstteki bodrumun üstündeki döşeme), eğer giriş ve üst katlar için olan yangına dayanım süreleri daha fazla ise o hükümleri sağlamalıdır.
(2) Binaları ayıran yangın kompartıman duvarları için en az 60 dakikaya yükseltilir.
(3) Taşıyıcı sistemin bir bölümünü teşkil etmeyen elemanlar için 90 dakikaya düşürülebilir.
(4) Acil kaçışı oluşturan elemanlar için 30 dakikaya yükseltilir.

Bu doğrultuda BYKHY'te NFPA'in aksine, ahşap yapı elemanlarının kullanıldığı binaların yüksekliğine ya da kat sayısına dair bir sınırlama bulunmamaktadır. NFPA'de ahşap yapısal elemanların kullanıldığı yapılar için ayrıca bir sınıflandırma yapılıp buna göre yapı elemanlarının yangın dayanım süreleri belirlenmişken BYKH-Y'te yapı elemanları için belirtilen yangın dayanım süreleri tüm yapılar için geçerlidir.

3. AHŞAP MALZEMENİN İÇ MEKÂN KAPLAMASINDA KULLANIMI

BYKHY'e göre binalarda kullanılan yapı malzemelerinin yangına tepkileri TS EN 13501-1 standardına göre sınıflandırılmaktadır. Yönetmelikte iç mekân kaplama malzemeleri için talep edilen yanıcılık sınıfları, yapı içerisindeki kullanım amacına ve yapının yüksek bina olup olmamasına bağlı olarak değişmektedir. Malzemelerin yanıcılık sınıfı döşeme harici yapı malzemelerinde en fazla üç adet, döşemelerde ise en fazla iki adet harf koduyla tarif edilmektedir. Döşeme haricindeki yapı malzemeleri için ilk harf kodu malzemenin alev yayılım özelliğini göstermekte olup "A1"den "F"ye kadar alev yayılım özelliği artmaktadır. İkinci harf kodu olan "s", malzemenin yanma esnasında açığa çıkardığı duman miktarını tarif etmekte olup "s1"den "s3"e doğru açığa çıkan duman miktarı artmaktadır. Üçüncü harf kodu olan "d" ise malzemenin yanma damlatma yapıp yapmadığı belirtmekte olup hiç damlatma yapmayan malzemeler "d0" ile belirtilmek ve "d2"ye doğru damlatma miktarı artmaktadır. Döşeme kaplama malzemelerinde ise "d" harf kodu bulunmamakta ve en fazla iki harf kodu tanımlanmaktadır. TS EN 13501-1'e göre yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları Tablo 5'te, iç kaplama malzemeleri için BYKHY'te talep edilen asgari yanıcılık sınıfları ise Tablo 6'da belirtilmektedir [3].

Tablo 5. Yapı Malzemelerinin TS EN 13501-1'e Göre Yanıcılık Sınıfları [3]

Döşemeler Dışındaki Yapı Malzemeleri İçin Yanıcılık Sınıfları	
Malzemenin Yanıcılık Özelliği	TS EN 13501-1(2)
Hiç Yanmaz	A1
Zor Yanıcı	A2 – s1, d0
Zor Alevlenici	B, C – s1, d0
	A2 – s2, d0 A2, B, C – s3, d0
	A2, B,C – s1, d1 A2, B,C – s1, d2
(en az)	A2, B, C – s3, d2
Normal Alevlenici0	D – s1, d0 D – s2, d0 D – s3, d0 E
	D – s1, d2 D – s2, d2 D – s3, d2
(en az)	E – d2
Kolay Alevlenici	F
Döşeme Malzemeleri İçin Yanıcılık Sınıfları	
Malzemenin Yanıcılık Özelliği	TS EN 13501-1'e göre (2)
Hiç Yanmaz	$A1_{FL}$
Zor Yanıcı	$A2_{FL}$ – s1
Zor Alevlenici	B_{FL} – s1
(en az)	C_{FL} – s1
Normal Alevlenici	$A2_{FL}$ – s2 B_{FL} – s2 C_{FL} – s2 D_{FL} – s1 D_{FL} – s2
(en az)	E_{FL}
Kolay Alevlenici	F_{FL}

Tablo 6. BYKHY'e göre iç kaplama malzemelerinin asgari yanıcılık sınıfı [3]

Kullanım Amacı	TS EN 13501-1'e Göre Yanıcılık Sınıfı
YANGIN MERDİVENİ, YANGIN GÜVENLİK HOLÜ VE YANGIN KAÇIŞ KORİDORLARI	
Tavan ya da duvar kaplamaları	A1
Döşeme kaplamaları	$A1_{FL}$
TEHLİKELİ MADDE DEPOLANAN ODALAR (ÖRNEĞİN YANICI SIVI DEPOLAMA ODALARI)	
Tavan ya da duvar kaplamaları	A1
Döşeme kaplamaları	$A1_{FL}$
KAZAN DAİRESİ/JENERATÖR DAİRESİ GİBİ YAKIT YAKMA CİHAZLARININ BULUNDUĞU TESİSAT DAİRELERİ	
Tavan kaplamaları	C-s3,d2
Duvar kaplamaları ve duvar içerisindeki ısı/ses yalıtım malzemeleri	E,d2 (yüksek olmayan binalarda) C-s3,d2 (yüksek binalarda)
Döşeme kaplamaları	E_{FL} (yüksek olmayan binalarda) C_{FL}-s1 (yüksek binalarda)
100'DEN FAZLA KİŞİNİN BULUNDUĞU TOPLANMA AMAÇLI ALANLAR	
Tavan kaplamaları	C-s3,d2
Asma tavan malzemesi[1]	C-s3,d2
Duvar kaplamaları ve duvar içerisindeki ısı/ses yalıtım malzemeleri	C-s3,d2
Döşeme kaplamaları	E_{FL} (yüksek olmayan binalarda) C_{FL}-s1 (yüksek binalarda)
DİĞER KULLANIM ALANLARI	
Tavan kaplamaları	C-s3,d2
Asma tavan malzemesi[1]	C-s3,d2
Duvar kaplamaları ve duvar içerisindeki ısı/ses yalıtım malzemeleri	E,d2 (yüksek olmayan binalarda) C-s3,d2 (yüksek binalarda)
Döşeme kaplamaları	E_{FL} (yüksek olmayan binalarda) C_{FL}-s1 (yüksek binalarda)

[1] BYKHY'te atıfta bulunulan sprinkler standardına (TS EN 12845) göre, asma tavan yapısı yanıcı olduğunda, asma tavan içinde sprinkler koruması zorunludur.

Günümüzde FR MDF gibi ahşap malzemelerin yanıcılık sınıfının zor alevlenici (B-s1,d0 / B-s2,d0) özellik gösterebildiği bilinmektedir. Dolayısıyla BYKHY'e göre Tablo 6'da en az zor alevlenicinin (C-s3,d2) ya da daha azının talep edildiği yerlerde ilgili yanıcılık sınıfını karşılayan ahşap kaplama malzemelerinin kullanılması mümkündür [6, 7].

NFPA 101'e göre ise binalarda kullanılan yapı malzemelerinin yangına tepkileri duvar-tavan malzemeleri için ASTM E84 veya UL 723'e göre; döşeme malzemeleri için ASTM E648 veya NFPA 253'e göre sınıflandırılmaktadır. Yönetmelikte iç mekân kaplama malzemeleri için talep edilen yanıcılık sınıfları, yapı içerisindeki kullanım alanına bağlı olarak değişmektedir. Tavan ve duvar iç kaplama malzemeleri Class A, Class B ve

Class C şeklinde sınıflandırılırken döşeme kaplama malzemeleri Class I ve Class II şeklinde sınıflandırılmaktadır. NFPA'de kaplama malzemelerin yanıcılık sınıfı, alev yayılımı (Flame Spread Index - FSI) ve duman gelişimi (Smoke Developed Index - SDI) göstergelerine bağlı olarak Class A, Class B ve Class C olarak sınıflandırılmaktadır. Her üç sınıf için de duman gelişimi 0-450 arasında olup eğer bir malzemenin alev yayılımı 0-25 arasında ise Class A, 26-75 arasında ise Class B ve 76-200 arasında ise Class C sınıfında değerlendirilmektedir. Döşemeler içinse kritik radyant akısına göre sınıflandırılma yapılmakta olup kritik radyant akısı en az 0.45 W/cm^2 olan döşeme kaplamaları Class I olarak, 0.22 W/cm^2 ile 0.45 W/cm^2 arasında olan döşeme kaplamaları ise Class II olarak değerlendirilmektedir. NFPA 101'e göre iç kaplama malzemelerinin asgari yanıcılık sınıfları Tablo 7'de belirtilmektedir [8].

Tablo 7. NFPA 101'e göre iç kaplama malzemelerinin asgari yanıcılık sınıfı [8]

Kullanım Amacı Çıkışlar (Yangın Merdiveni, Yangın Güvenlik Holü ve Yangın Kaçış Koridorları)		**Asgari Yanıcılık Sınıfı**[1]		
		Çıkışlara Erişim Koridorları	Diğer Kullanım Alanları	
300'den Fazla Kişinin Bulunduğu Toplanma Amaçlı Alanlar	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class B	Class B
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
300'den Az Kişinin Bulunduğu Toplanma Amaçlı Alanlar	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class B	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Ofis ve Ayakta Sağlık Hizmetleri	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class B	Class B	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Uygulanmaz[2]	Uygulanmaz[2]
Apartman	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class B	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Otel, Yurt, Yatakhane	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class B	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Eğitim	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class B	Class B (istisnai durumlarda Class C olabilir)
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Sağlık Hizmetleri	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class A	Class A (istisnai durumlarda Class B olabilir)	Class A (istisnai durumlarda Class B olabilir)
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Ticaret	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class B	Class B	Class B
	Döşeme kaplamaları	Class II	Uygulanmaz[2]	Uygulanmaz[2]
Endüstriyel	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class B	Class C	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Class II	Uygulanmaz[2]
Depo	Tavan ya da duvar kaplamaları	Class B	Class C	Class C
	Döşeme kaplamaları	Class II	Uygulanmaz[2]	Uygulanmaz[2]

[1] Sprinkler sistemi ile korunan binalarda, iç kaplama malzemelerinin asgari sınıflandırması bir sınıf düşürülebilir. Yani Class A'nın gerekli olduğu yerlerde Class B; Class B'nin gerekli olduğu yerlerde Class C ve Class I'in gerekli olduğu yerlerde Class II'ye izin verilmektedir.

[2] Tabloda "Uygulanmaz" olarak belirtilen alanlar için, zemin kaplama malzemesinin kritik radyant akısı, ASTM E648 veya NFPA 253 standardına göre en az 0,1 W/cm² olmalıdır.

NFPA 101, BYKHY'ten farklı olarak tek bir harf ve sayı kodu kullanarak daha az sayıda bir sınıflandırma yapmaktadır. Tablo 7'ye göre yangın merdiveni, yangın güvenlik holü ve yangın kaçış koridorları gibi alanların dışında duvar-tavan kaplamaları için en az Class B ya da Class C; döşemeler içinse en az Class II ya da Class II'den daha düşük performans gösteren malzemelerin kullanılmasına izin verilmektedir.

Duvar-tavan kaplamaları için doğal, herhangi bir yangın geciktirici işlem görmemiş ahşap ürünler genellikle Class B ya da Class C özelliği sağlamaktadır. Öte yandan bazı yangın geciktirici işlem görmüş (FRT) ahşap malzemelerin yanıcılık sınıfı Class A özelliğini sağlayabilmektedir [9-11]. Benzer şekilde döşemeler de için de Class I gerekliliklerini sağlayan ahşap kaplamalar mevcuttur [12,13]. Dolayısıyla ahşap kaplama malzemelerinin duvar-tavan-döşeme kaplaması olarak kullanılması konusunda BYKHY'e kıyasla daha esnek davranıldığı söylenebilmektedir.

4. AHŞAP MALZEMENİN ÇATI VE CEPHEDE KULLANIMI

Taşıyıcı sistem ve iç mekan kaplama malzemelerinde olduğu gibi çatı ve cephe sistemlerinde de ahşap malzemenin kullanımına dair BYKHY'e ve NFPA'e birtakım tasarım kriterleri yer almaktadır. Bu kriterler çatı ve cephe sistemleri için aşağıda ayrı başlıklar altında açıklanmaktadır.

2.1. Ahşap Malzemenin Çatı Sistemlerinde Kullanımı

BYKHY'e göre çatı kaplama malzemelerinin yanıcılık özelliği TS EN 13501-5 standardına göre sınıflandırılmaktadır. Çatılar için BYKHY "Çatılar, Madde 28"in 2. fıkrasında *"Çatı kaplamalarının B_{ROOF} sınıfı malzemelerden, çatı kaplamaları altında yer alan yüzeyin veya yalıtımın en az zor alevlenici malzemelerden olması gerekir. Ancak, çatı kaplaması olarak yanmaz malzemelerin kullanılması durumunda üzerine çatı kaplaması uygulanan yüzeyin en az normal alevlenen malzemelerden olmasına izin verilir"* ve 3. fıkrasında *"Yüksek binalarda ve bitişik nizam yapılarda; a) Çatıların oturdukları döşemelerin yatay yangın kesici niteliğinde, b) Çatı taşıyıcı sistemi ve çatı kaplamalarının yanmaz malzemeden olması gerekir"* denilmektedir. Söz konusu yönetmelik maddesine göre ahşabın, yüksek binalarda çatı kaplama malzemesi olarak ve çatı taşıyıcı sisteminde yapı elemanı olarak kullanılmasına izin verilmemektedir. Çatı kaplamalarının B_{ROOF} ya da yanmaz olup olmamasına göre ise binalarda çatı kaplaması altında yer alan yüzeyin veya yalıtımların ahşap malzemeden olabilmesi için söz konusu ahşap malzemenin EN 13501'e göre Madde 28'de belirtilen yanıcılık sınıflarını sağlaması gerekmektedir [3].

NFPA 5000'e göre ise çatı kaplama malzemelerinin yanıcılık özellikleri yapı tipi sınıfına göre belirlenmektedir. Çatı kaplama malzemelerinin belli bir yanıcılık sınıfını sağlaması gerektiği binalar için Tablo 8'de görüldüğü üzere Tip III (211), Tip IV (2HH) ve Tip V (111) sınıfı yapılarda çatı kaplama malzemelerinin en az "B" sınıfı; Tip III (200) ve Tip V (000) sınıfı yapılarda ise çatı kaplama malzemelerinin en az "C" sınıfı yanıcılık özelliği sağlaması gerekmektedir [4].

Tablo 8. NFPA 5000 – Minimum çatı kaplama sınıflandırması [4]

Yapı Tipi	Minimum Çatı Kaplama Sınıflandırması
Tip I (442)	B
Tip I (332)	B
Tip II (222)	B
Tip II (111)	B
Tip II (000)	C
Tip III (211)	B
Tip III (200)	C
Tip IV (2HH)	B
Tip V (111)	B
Tip V (000)	C

Doğal, herhangi bir yangın geciktirici işlem görmemiş ahşap ürünler genellikle Class B ya da Class C özelliği sağlamaktadır. Öte yandan bazı yangın geciktirici işlem görmüş (FRT) ahşap malzemelerin yanıcılık sınıfı Class A özelliğini sağlayabilmektedir [9-11]. Tablo 8'e göre çatı kaplaması olarak en fazla Class B sınıfı şartı aranması sebebiyle yapı tipi sınıfı ne olursa olsun çatılarda ahşap malzemenin kaplama olarak kullanılmasına izin verilmektedir. Öte yandan çatı taşıyıcı sisteminin de NFPA 5000'e göre Tip III, Tip IV ve Tip V yapılarda ahşap olmasına izin verilmektedir. Dolayısıyla çatı kaplaması ve çatı taşıyıcı sisteminde ahşap kullanılması konusunda BYKHY'e kıyasla daha esnek davranıldığı söylenebilmektedir.

2.2. Ahşap Malzemenin Cephe Sistemlerinde Kullanımı

Cepheler için BYKHY "Cepheler, Madde 27"nin 1. fıkrasında *"Dış cephelerin, bina yüksekliği 28.50 m'den fazla olan binalarda zor yanıcı malzemeden ve diğer binalarda ise en az zor alevlenici malzemeden olması gerekir. Alevlerin bir kattan diğer bir kata geçmesini engellemek için iki katın pencere gibi korumasız boşlukları arasında, düşeyde en az 100 cm yüksekliğinde yangına dayanıklı cephe elamanıyla dolu yüzey oluşturulur veya cephe iç kısmına en çok 2 m aralıklarla cepheye en fazla 1.5 m mesafede yağmurlama başlıkları yerleştirilerek cephe otomatik yağmurlama sistemi ile korunur"* ve 2. fıkrasının b) bendinde *"Dış cephesi zor alevlenici malzeme veya sistemden oluşan, yüksekliği 28.50 m'den az olan binalarda, tabii veya tesviye edilmiş zemin kotu üzerindeki 1.5 m mesafe hiç yanmaz malzeme ile kaplanmalı; bina yüksekliği 6.50 m'den fazla olan binalarda pencere ve benzeri boşluklarının yan kenarları en az 15 cm ve üst kenarı en az 30 cm eninde hiç yanmaz malzeme ile yangın bariyerleri oluşturulmalıdır"* denilmektedir. Söz konusu yönetmelik maddesine göre bina yüksekliği 28.5 m'den fazla olan binalarda ahşabın cephe kaplama malzemesi olarak kullanılmasına izin verilmemektedir. Bina yüksekliği 28.5 m'den az olan binalarda ise ahşap malzemenin EN 13501-1'e göre en az zor alevlenici (C-s3,d2) özellikte olması durumunda kullanılmasına kısmen izin verilmektedir. Doğrama kenarlarında ve zeminden itibaren ilk 1.5 m mesafede hiç yanmaz malzeme kullanılması talebi ahşabın kullanımını hem estetik hem de uygulama açısından zorlaştırmaktadır [3].

NFPA 5000'de ise cephelerin yangın dayanımı söz konusu olduğunda yapı tipi sınıfına bağlı olarak dış duvarların yanıcılık sınıfına ve yangın dayanım süresine uygunluk sağlanmalıdır. Ahşabın yapı elemanı olarak kullanılabildiği Tip III, Tip IV ve Tip V yapı tipi sınıflarında dış duvar malzemeleri için belirtilen kriterler aşağıda açıklanmaktadır [4]:

Tip III: Dış duvarlar ve dış duvarların bir parçasını oluşturan strüktürel elemanlar yanmaz ya da sınırlı-yanıcı (limited combustible) malzemeden olmalıdır. **İstisna olarak dış duvar yapıları içinde, onaylı FRT ahşap iskelet kullanımına (dış duvarlar için gerekli yangın dayanım süresi ve yatay ayrım mesafesinin sağlanması şartıyla) izin verilmektedir ancak bunun için yangın dayanım süresinin korunması ve bu tür duvarların açıkta kalan dış ve iç yüzeylerinin yanmaz veya sınırlı yanıcı malzemelerden yapılmış olması şarttır** [4].

Tip IV (heavy timber/mass timber): Yangın duvarları, dış duvarlar (bazı istisnalar hariç) ve iç taşıyıcı duvarlar ile bu duvarların bir parçasını oluşturan strüktürel elemanlar yanmaz ya da sınırlı-yanıcı (limited combustible) malzemeden olmalıdır.

İstisna olarak yapısal elemanları Tip I (332) ve Tip II (222) için belirtilen yangın dayanım sürelerini ve bazı ilave gereklilikleri (binanın sprinkler sistem ile korunması, bina yüksekliğinin sınırlandırılması vb.) sağlayan Tip IV binaların dış duvarlarında, üzeri en az bir kat 16 mm'lik alçıpan ile kaplanmış masif ahşabın (mass timber) kullanılmasına izin verilmektedir.

Bunun haricinde 2 saat ya da daha az yangın dayanımı gerektiren dış duvarlarda ahşap malzeme iki şekilde kullanılabilir:

1) Dış duvar yapıları içinde, onaylı FRT ahşap iskelet kullanımına (dış duvarlar için gerekli yangın dayanım süresi ve yatay ayrım mesafesinin sağlanması şartıyla) izin verilmektedir ancak bunun için yangın dayanım süresinin korunması ve bu tür duvarların açıkta kalan dış ve iç yüzeylerinin yanmaz veya sınırlı yanıcı malzemelerden yapılmış olması şarttır.

2) Dış duvarlarda, üzeri yanmaz ya da en az 16 mm'lik alçıpan ya da en az 12 mm'lik FRT ahşap ile kaplanmış çapraz lamine ahşabın (CLT) kullanılmasına izin verilmektedir [4].

Tip V: Dış duvarlar kullanılacak malzeme hakkında herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Yapı tipine bağlı olarak dış duvarlar için gerekli yangın dayanım süresi sağlanmalıdır [4].

Bu doğrultuda NFPA'e **göre, ahşap malzemenin dış duvarlarda görünür (kaplama) bir şekilde kullanılmasına Tip V yapılarda ve FRT ahşap ile kaplı** CLT'nin kullanıldığı Tip IV yapılarda izin verilmektedir. Tip IV yapıların 26 m (6 kat) yüksekliğe ve Tip V yapıların ise 21 m (5 kat) yüksekliğe kadar inşa edilebildiği göz önünde bulundurulduğunda, cephede ahşap kullanımının BYKHY'te 28.5 m'nin altındaki yapılar için izin verilmesi NFPA ile uyumlu görünmektedir. Öte yandan BYKHY, 28.5 m'nin altındaki yapılarda ahşabın cephede sınırlı bir şekilde kullanılmasına izin verirken NFPA'e **göre** belli şartlar altında tüm cephede ahşap kullanılmasına izin verilmektedir.

5. SONUÇ

BYKHY'de **göre yapılar belli sınıflandırmaya tabi tutulmamakta ve t**aşıyıcı sistemi ahşap olan yapılarda bina/yapı yüksekliği ya da kat sayısına dair bir sınırlama görülmemektedir. Yapı elemanlarının sağlaması gereken yangına dayanım süreleri tüm yapılar **için geçerlidir.** Buna karşın NFPA 5000'de taşıyıcı sisteminde ahşap kullanılabilen yapılar Tip III, Tip IV ve Tip V şeklinde sınıflandırılmış olup bu yapı tipleri için belli bir yükseklik, alan ve kat sayısı sınırı belirtilmiştir. Yapı elemanlarının yangına dayanım süreleri de bu yapı tiplerine bağlı olarak belirtilmektedir. NFPA 5000'e göre Tip III, Tip IV ve Tip V yapıların kolon, kiriş, çatı ve döşemelerinde ahşap malzeme kullanılabilmektedir. Taşıyıcı olan/olmayan iç ve dış duvarlarda ahşap malzeme kullanımına ise yapı tipi sınıfına bağlı olarak izin verilmektedir.

İç mekân kaplamaları söz konusu olduğunda yangın merdiveni, yangın güvenlik holü ve yangın kaçış koridorları gibi alanlar hariç olmak üzere, BYKHY'te tavan kaplamaları ile yüksek binalarda duvar ve döşeme kaplama malzemelerinin en az zor alevlenici (C-s3,d2/CFL-s1), yüksek olmayan binalar için duvar ve döşeme kaplama malzemelerinin en az normal alevlenici (E-d2/EFL) özellikte olması talep edilmektedir. Öte yandan NFPA 101'de duvar-tavan kaplamaları için en az Class B ya da Class C; döşemeler içinse en az Class II ya da Class II'den daha düşük performans gösteren malzemelerin kullanılmasına izin verilmektedir. Bununla beraber eğer yapı sprinkler sistem ile korunuyorsa belirtilen yanıcılık sınıflarının bir sınıf aşağısının da uygulanmasına izin verilmektedir. Buna göre sprinkler sistem ile korunan yüksek bir binada BYKHY'e **göre** yanıcılık sınıfı en az zor alevlenici (C-s3,d2/CFL-s1) olan iç kaplama malzemelerinin kullanılması talep edilirken NFPA 101'e **göre** duvar-tavan kaplamaları için en az Class C ve döşemeler için de en az Class II ya da Class II'den daha düşük performans gösteren malzemelerin kullanılmasına izin verilmektedir. Bir ahşabın en az zor alevlenici özellik sağlaması için yangın geciktirici işlem görmüş olması gerekmektedir. Yangın geciktirici işlem görmemiş bazı ahşap malzemeler Class C ya da Class II **özellik sağlayabilmektedir. Dolayısıyla NFPA 101 doğal ahşabın kullanım alanı konusunda** BYKHY'ten daha esnek bir anlayış göstermektedir.

Çatı sistemleri konusunda BYKHY'de **çatı kaplamalarının ve yüksek binalarda çatı taşıyıcı sistemin**in ahşap malzemeden olmasına izin verilmemektedir. NFPA 5000'de ise Tip III, Tip IV ve V yapılarda çatı taşıyıcı sisteminin ahşap olması mümkündür. Bununla beraber çatı kaplama malzemesi olarak en fazla Class B yanıcılık sınıfı şartı arandığı için yapı sınıfı (dolaylı olarak yapı/bina yüksekliği) ne olursa olsun **çatı kaplama malzemesi olarak ahşap kullanılabilmektedir.**

Cephe kaplamaları için ise NFPA 5000'e göre ahşabın görünür cephe kaplaması olarak kullanımı Tip V yapılarda ve belirli koşulları sağlayan Tip IV yapılarda mümkündür. Bu yapı tiplerinin izin verilen yükseklikleri (Tip IV: yaklaşık 26 m/6 kat, Tip V: yaklaşık 21 m/5 kat) dikkate alındığında, BYKHY'de ahşap malzemenin cephe kaplaması olarak kullanılmasına 28,5 m'nin altındaki yapılar **için** izin vermesi genel olarak NFPA ile uyumludur. Ancak BYKHY ahşabın cephede kullanımını sınırlı tutarken, NFPA belirli şartlar sağlandığında cephe yüzeyinin tamamında ahşap kullanımına izin verebilmektedir.

Sonuç olarak NFPA'de ve BYKHY'te ahşap malzemenin taşıyıcı sistem, çatı-cephe sistemleri ve iç mekân kaplamasında kullanımına dair tasarım kriterleri kıyaslandığında NFPA'in ahşap malzeme kullanımı konusunda çok daha esnek hükümler içerdiği görülmektedir. NFPA'in yapı tipi sınıflandırması yaparak ahşap malzemelerin kullanımına özel tasarım kriterleri içermesi sonucu ahşabın yapı özelinde daha fazla alanda kullanılabilir olmasının sağlandığı söylenebilmektedir. BYKHY'te de bu tür bir yapı sınıflandırılması bulunmaması sebebiyle ahşap malzemenin kullanımını kolaylaştırmak amacıyla yönetmelikte **özellikle iç mekân, çatı ve cephe kaplama malzemeleriyle alakalı hükümler konusunda** *"ahşap olması durumunda şu yanıcılık sınıfına izin verilir"* şeklinde ibarelerin harici olarak belirtilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

[1] A. Buchanan & B. Östman, "Fire Safe Use of Wood in Buildings: Global Design Guide", CRC Press, 2022

[2] "Charred Wood", [İnternet], Erişim adresi: https://www.nachi.org/gallery/framing-2/chared-wood, (Erişim Tarihi: 7.06.2026)

[3] "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", TÜYAK, 2021

[4] NFPA 5000, "Building Construction and Safety Code", National Fire Protection Association, 2024 Edition

[5] "Construction Types 1-5", [İnternet], Erişim adresi: https://academy2.youngarchitect.com/construction-types/, (Erişim Tarihi: 05.07.2026)

[6] "Yıldız Entegre – Kalite Belgeleri", [İnternet], Erişim adresi: https://www.yildizentegre.com/kalite-belgeleri, (Erişim Tarihi: 05.07.2026)

[7] "Kastamonu Entegre – Ürün Kalite Belgeleri", [İnternet], Erişim adresi: https://www.kastamonuentegre.com/tr_tr/kalite-sayfa/urun-kalite-belgeleri, (Erişim Tarihi: 05.07.2026)

[8] NFPA 101, "Life Safety Code", National Fire Protection Association, 2024 Edition

[9] "Demeter – Fire-Retardant MDF", [İnternet], Erişim adresi: https://greenmdf.com/product/fire-retardant-mdf/, (Erişim Tarihi: 11.07.2026)

[10] "UNILIN – Fire-retardant MDF", [İnternet], Erişim adresi: https://www.unilinpanels.com/en/mdf/fire-retardant, (Erişim Tarihi: 11.07.2026)

[11] DML USA – Understanding Class A Fire-Rated Materials for Safer Buildings Class A fire-rated materials: 7 Powerful Benefits in 2025", [Internet], Erişim adresi: https://dmlusa.com/class-a-fire-rated-materials/, (Erişim Tarihi: 11.07.2026)

[12] "HAVWOODS – FlameLESS", [İnternet], Erişim adresi: https://www.havwoods.com/us/selection/flameless/, (Erişim Tarihi: 11.07.2026)

[13] "Endure Materials – Timber XL Exclusive", [İnternet], Erişim adresi: https://endurematerials.com/products/timber-xl-exclusive/, (Erişim Tarihi: 11.07.2026)

4. KISA ÖZGEÇMİŞ

Betül YAYGIR

1998 yılında Bursa'da doğdu. 2020 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık bölümünden "mimar" unvanını; 2023 yılında ise Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE), Yapı Programı'ndan "yüksek mimar" unvanını alarak mezun oldu. 2021 yılından bu yana Etik Mühendislik'te çalışmaktadır.

NATURAL FULL-SCALE FIRE TEST ON A THREE-STOREY CLT BUILDING

ARIO CECCOTTI

ABSTRACT

This paper presents the main outcomes of a natural full-scale fire test carried out on a three-storey building constructed with prefabricated cross-laminated timber (CLT) panels. The test formed part of the SOFIE research programme, funded by the Italian Province of Trento and conducted at the CNR-Trees and Timber Institute in Italy, investigating the structural performance of timber buildings and supporting the development of technical guidance for CLT construction. The fire test was conducted at the Building Research Institute in Tsukuba, Japan, to assess the global fire behaviour of the building under natural fire conditions. The results provide evidence that, when appropriate fire-protection measures are adopted, compartmentation can be maintained and fire spread to the upper storey can be prevented, while damage to the load-bearing CLT panels remains limited.

Keywords: timber buildings; CLT; natural fire test; fire resistance.

SUMMARY

This study contributes experimental evidence on the fire performance of multi-storey buildings constructed with prefabricated cross-laminated timber (CLT) panels under natural fire exposure. The work was developed within the SOFIE research programme, funded by the Italian Province of Trento and carried out by the CNR-Trees and Timber Institute, with the broader objective of supporting the engineering use of CLT construction through full-scale experimental assessment.

The fire test was performed at the Building Research Institute in Tsukuba, Japan, on a three-storey CLT building representative of prefabricated timber construction. The investigation focused on the global fire behaviour of the structure, with particular attention to compartmentation, vertical fire spread and the protection of load-bearing CLT panels.

The results indicate that suitable fire-protection and compartmentation strategies can confine the fire to the compartment of origin, prevent vertical fire propagation to the upper storeys and limit damage to the load-bearing CLT panels. These findings strengthen the experimental basis for the use of protected CLT panel systems in multi-storey buildings and provide relevant evidence for performance-based fire-safety design of CLT structures.

INTRODUCTION

In recent years, the construction industry has devoted increasing attention to building methods based on integrated structural systems. Timber is particularly well suited to this “built with a system” approach, owing to its suitability for industrial production and prefabrication. A notable example is the use of large prefabricated cross-laminated timber panels, commonly referred to as CLT panels, as load-bearing elements for walls and floors. These panels have been increasingly adopted in residential, office, commercial and industrial buildings, especially in Austria, Germany and Italy, starting since the beginning of 2000. CLT panels are manufactured off-site in accordance with structural drawings, including openings for doors, windows and staircases, and are subsequently transported to the construction site for assembly by means of simple and rapid connections. Insulation and façade components can also be readily integrated. In contrast to

light timber-frame systems, in which vertical loads are carried by individual studs, CLT panels are capable of transferring higher vertical loads while providing enhanced stiffness and structural robustness. Further advantages include high levels of thermal insulation and airtightness. Under fire conditions, CLT panels may also reduce the risk of fire propagation through concealed cavities when compared with light timber-frame construction, although their use increases the combustible fire load within the compartment. CLT panels are manufactured from industrially dried spruce boards, which are arranged in crosswise layers and bonded over their full surface. Depending on their intended application and structural requirements,

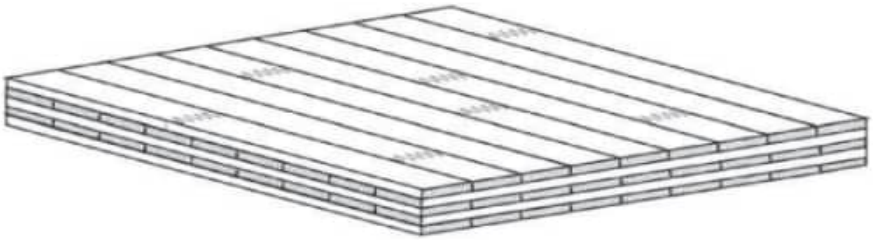


Fig. 1 Example of a CLT panel [1]

CLT panels may consist of 3, 5, 7 or more board layers. The width of the individual boards generally ranges from 80 to 240 mm, while their thickness typically varies between 10 and 40 mm. The resulting cross-section of panels must be symmetrical. Each board is either visually or machine graded and may be connected by means of finger joints. The dimensions and geometry of CLT panels are governed by production, transportation and erection requirements. Figure 1 presents an example of a CLT panel [1]. Panel dimensions can be up to 50 cm in thickness, 3 metres in height and 15 metres in length.

An extensive research programme, designated SOFIE, was carried out at CNR-IVALSA in Italy to investigate the structural behaviour of timber buildings constructed with CLT panels. The project aims to provide technical documentation and knowledge concerning the use of CLT panels as structural elements, with the objective of promoting their application, particularly in multi-storey residential buildings. Prescriptive fire regulations still restrict the use of timber in many countries. However, in recent years, several countries have introduced performance-based fire regulations or have liberalised the use of timber in building construction. These regulatory developments create opportunities for new applications. To take advantage of these opportunities, it is essential to demonstrate that the fire safety level of timber buildings is not lower than that of buildings constructed using other materials. One research area within the SOFIE project therefore focused on the experimental and numerical assessment of the fire performance of CLT buildings. Numerous fire tests have been conducted on unloaded CLT panels at CNR-IVALSA under ISO fire exposure, enabling the influence of different parameters on the fire performance of CLT to be examined. Furthermore, to analyse the global behaviour of timber structures constructed with CLT panels, a natural full-scale fire test was carried out on a three-storey CLT building at the Building Research Institute in Tsukuba, Japan. This paper presents the main results of that natural full-scale fire test.

DESCRIPTION OF THE TEST SPECIMEN

The natural full-scale fire test was conducted on a three-storey timber building with an approximate plan area of 7 × 7 m and an overall height of about 10 m. The primary structural system of the building comprised four external CLT wall panels, each 85 mm thick, and one internal CLT wall panel of the same thickness, oriented parallel to the east–west direction (see Figure 2).

The floor assemblies, including the roof, consisted of 142 mm thick CLT panels connected to the walls by means of steel brackets and screws. The south and west façades of the test building were covered with insulating and finishing materials, whereas the CLT wall panels on the north and east sides were left exposed. The roof was fully protected with calcium silicate boards.

The fire room, measuring 3.34 × 3.34 × 2.95 m, was located on the first floor. It included two window openings, each approximately 1.0 × 1.0 m, and one door with net dimensions of 0.9 × 2.1 m. During the fire test, the door, which had a certified fire resistance of 60 minutes, remained closed. At the start of the test, each standard double-glazed window was opened to one quarter of its width, corresponding to an open area of approximately 0.26 × 0.94 m (see Figure 4, left). The window openings above the fire room consisted of double reinforced glass and were closed at the beginning of the test. All other window openings were sealed with gypsum plasterboards. Figure 3 shows the cross-section of the walls and floors of the fire room (see also Figure 2). The materials used in the construction were supplied in accordance with the following Japanese standards: Standard gypsum plasterboard: JIS A 6901 GB-R 12.5 mm. Fire-resistant gypsum plasterboard: JIS A 6901 GB-F 12.5 mm. Mineral wool (rock wool), 27 mm: JIS A 9521 25 mm. Concrete topping: JIS A 5308 ready-mixed concrete,18 N/mm^2.

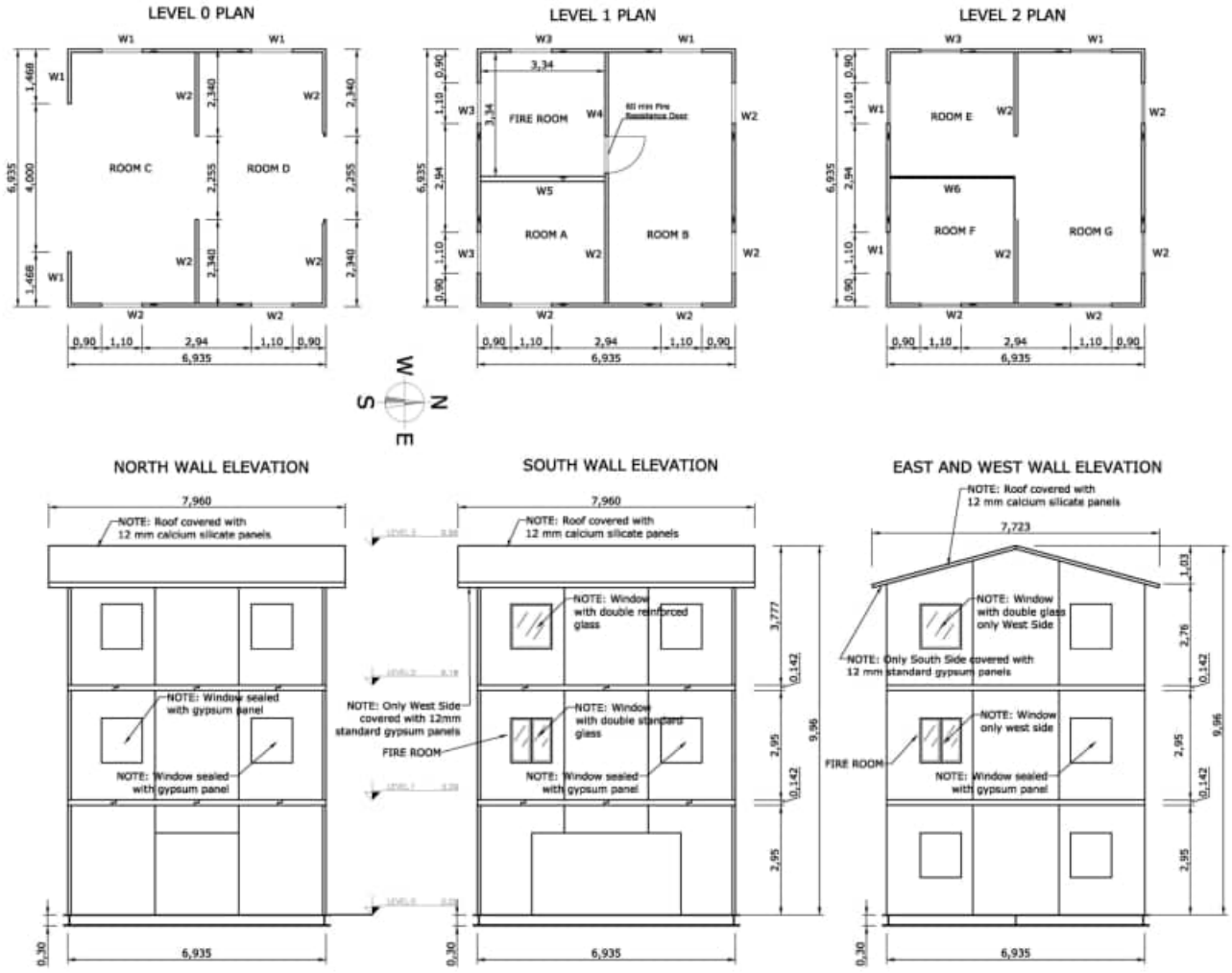
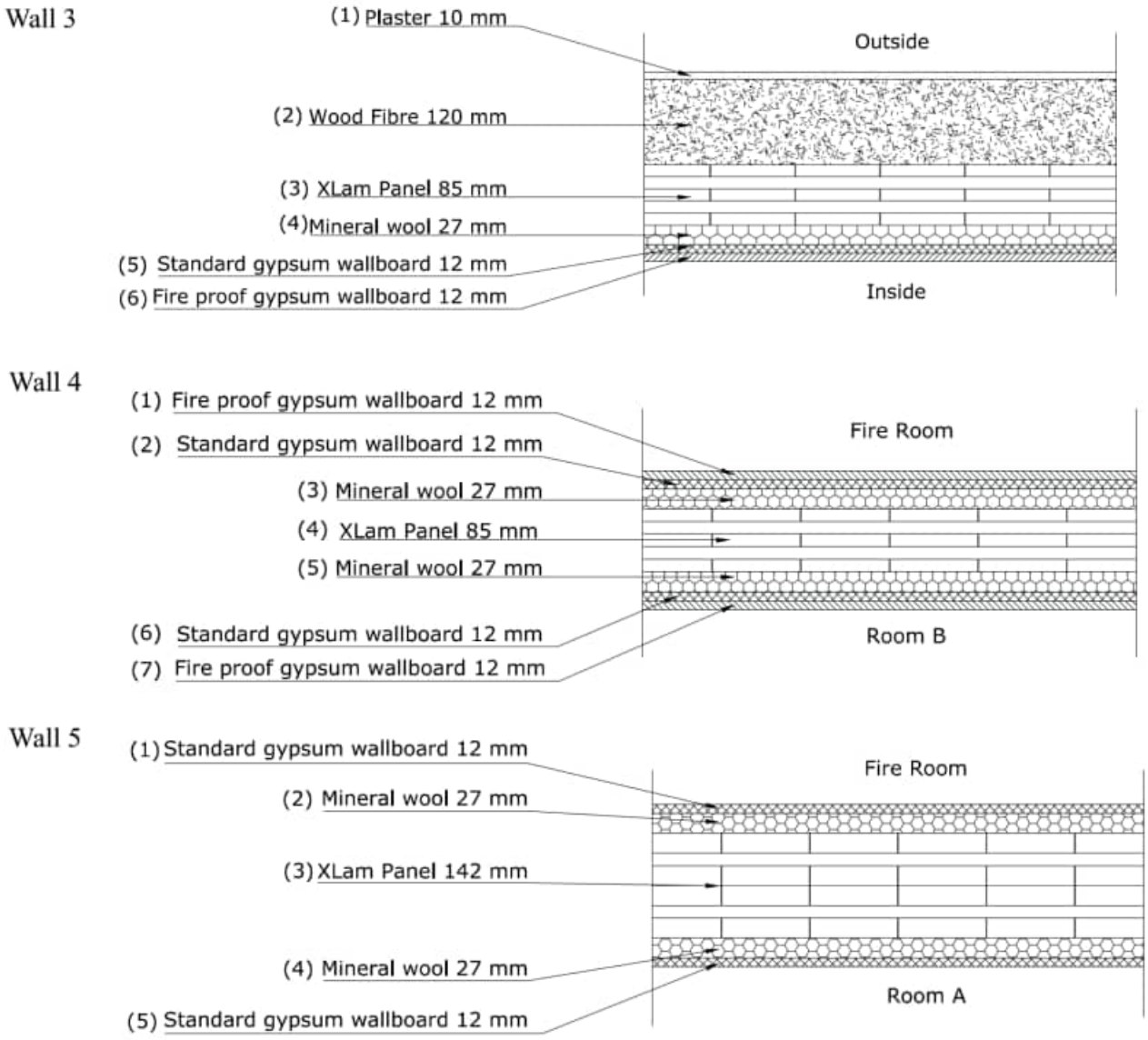


Fig. 2 Geometry of the three-storey timber building used for the natural full-scale fire test

TEST MEASUREMENTS

During the test, temperatures were measured and recorded at more than 100 locations using thermocouples in accordance with EN 1363-1 [2]. The thermocouples were installed on the internal room surfaces and within the wall, ceiling and floor assemblies. For the room located above the fire room, the glass temperature was measured on the internal surface of the windows. The temperature within the fire room was measured at the centre of the compartment using five thermocouples positioned at heights of 0.1, 0.74, 1.48, 2.22 and 2.85 m above the floor. In addition, eight plate thermocouples, two on each wall, were installed near the floor and ceiling at a distance of 0.1 m from the surface of the gypsum plasterboards. Two air-pressure transducers were installed in front of each window of the fire room, one at the upper part and one at the lower part of the open side. These transducers enabled the pressure of the incoming and outgoing gases to be measured; additional thermocouples were installed at the same locations. This arrangement allowed both temperature and pressure of the gas flow through each window to be determined at two distinct positions. The concentrations of oxygen, CO and CO2 were recorded using a gas-measurement instrument positioned in the fire room at a height of 2.20 m above the floor. Two heat-flux meters were installed outside each window of the fire room at a distance of 3 m from the glass surface. Two infrared thermographic cameras were positioned outside the building in front of the south and west walls of the fire room. The fire test was documented using nine video cameras, photographs and test records.



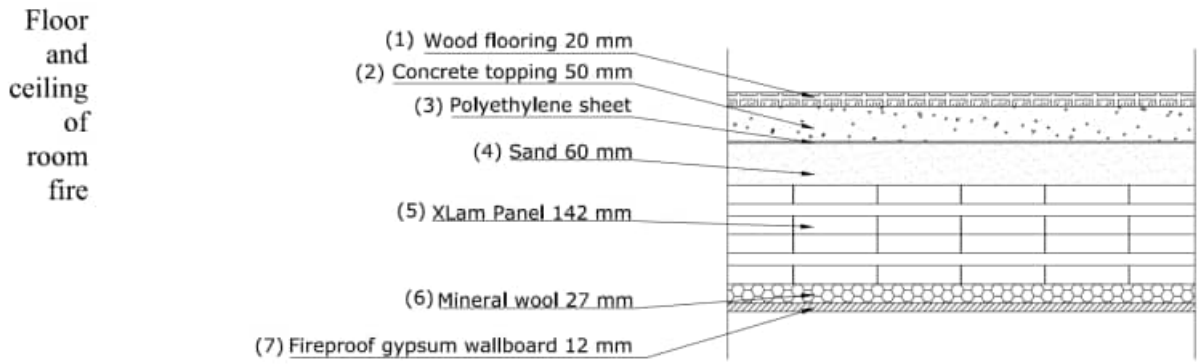


Fig. 3 Cross-section of the walls and floors of the fire room (see Figure 2)

FIRE LOAD AND FIRE IGNITION

In building fires, both the contents of the compartment, representing the movable fire load, and combustible construction materials contribute to the total fire load. In a typical residential room, the movable contents generally include beds, tables, cabinets, electronic equipment and similar items. For the present test, the fire room was furnished with two typical polyurethane mattresses. Additional movable fire load was provided by several wooden cribs placed within the compartment (see Figure 4, right). Ignition was initiated using conventional fire starters.



Fig. 4 Detail of the window opening of the fire room (left) and fire load consisting of two mattresses and several wooden cribs (right)

Table 1 reports the movable fire load and the additional fire load associated with combustible construction materials considered in the fire test. For the fire-load calculation, a net heat of combustion Hu of 17.5 MJ/kg was assumed for timber, as recommended in EN 1991-1-2 [3]. In calculating the additional fire load due to combustible construction materials, only the combustible wooden flooring was considered, with a participation factor of 0.5; accordingly, it was assumed that 50% of the wooden flooring contributed to the fire load. However, after the gypsum plasterboards and rock-wool insulation began to detach, the CLT panels also contributed to the fire load. The total fire-load density, calculated over the floor area of the fire room, was approximately 790 MJ/m^2. For comparison, Table E.4 of EN 1991-1-2 reports an average fire-load density of 780 MJ/m^2 for rooms in residential buildings.

Material	Participation factor	Total weight [kg]	Hu [MJ/kg]	Qfi [MJ]
Wooden flooring	0.5	94.5	17.5	827
Polyurethane mattresses	1.0	33.0	23.0	759
Additional wooden cribs	1.0	378	17.5	6613
Fire starters for ignition	1.0	2.5	40.0	100
			Total fire load [MJ]	8299
			Floor area [m^2]	10.5
			Fire load density calculated over 10.5 m^2 floor area [MJ/m^2]	790

Table 1 Fire load for the natural full-scale fire test

TEST RESULTS

VISUAL OBSERVATIONS

Following ignition, fire growth was initially slow as a result of the limited ventilation in the fire room; at the beginning of the test, each window was opened to only one quarter of its width. The glass of the south-facing window began to fail after approximately 20 minutes, while that of the west-facing window began to fail after approximately 30 minutes (see Figure 5, left). Complete collapse of both windows occurred after about 36 minutes. As window failure progressed, both the fire intensity within the compartment and external flaming through the openings increased. Flashover, defined as the stage at which all unprotected combustible materials are involved in burning, occurred after approximately 40 minutes (see Figure 5, right). After 53 minutes, the fire-room door detached, allowing smoke to penetrate into the adjacent room B. After approximately 55 minutes, the fire intensity began to decrease, and the fire was controlled and manually extinguished by firefighting operations, as planned, after 60 minutes. The window openings above the fire room did not fail; consequently, no fire spread to the upper storey was observed.



Fig. 5 Fire development approximately 32 minutes after ignition (left) and 40 minutes after ignition (right)

In two recent series of full-scale fire tests conducted by ETH [4] and VTT [5] on timber compartments, flashover occurred between 4 and 7 minutes after ignition. In those tests, the windows were fully open at the beginning of the experiment in order to provide adequate ventilation within the fire compartment.

TEMPERATURES

Figure 6 presents the room temperatures measured at the centre of the fire room at heights of 0.1, 0.74, 1.48, 2.22 and 2.85 m above the floor (see Figure 6, right). During the first 35 minutes, a non-uniform temperature distribution was recorded over the height of the compartment, with the highest temperatures occurring near the ceiling and the lowest temperatures near the floor. After approximately 35 minutes, all measured temperatures increased rapidly within a few minutes, indicating the onset of flashover and confirming the increase in fire intensity observed during the test.

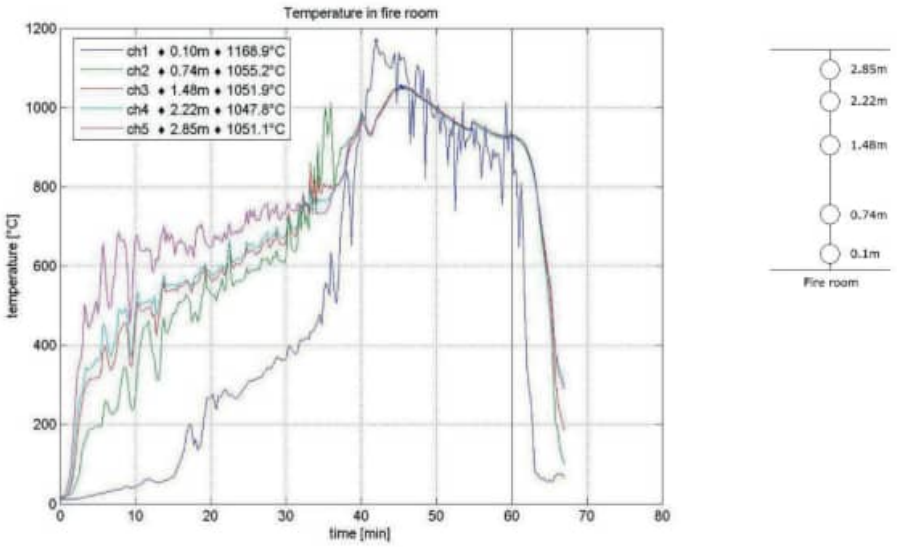


Fig. 6 Temperatures measured in the middle of the fire room at distances of 0.1, 0.74, 1.48, 2.22 and 2.85m from the floor

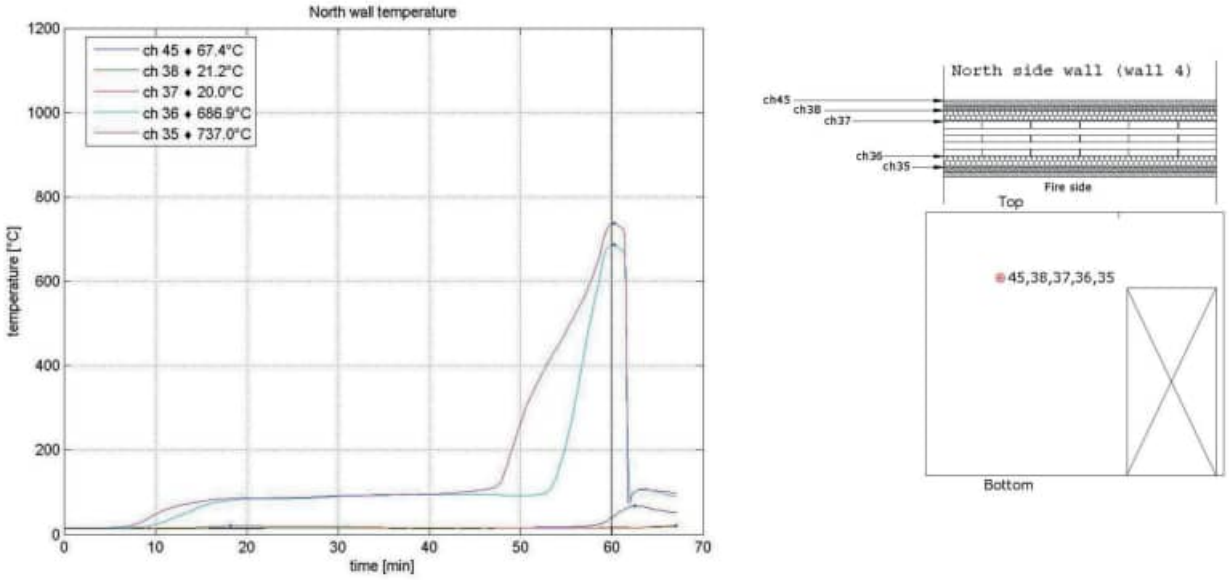


Fig. 7 Temperatures measured at the interface of the different layers of the North side wall (see figure 2 for the position of the wall).

Figures 7 and 8 show the temperatures measured at the interface between the different layers of the north- and south-side walls, respectively (see Figures 7 and 8, right, for the thermocouple locations). The results indicate that the temperature behind the two layers of gypsum plasterboard increased rapidly after approximately 47 minutes for the north-side wall and after approximately 50 minutes for the south-side wall. Assuming a critical temperature of approximately 600 °C [6], failure of the two gypsum plasterboard layers can be inferred to have occurred after approximately 57 and 53 minutes, respectively. During the final 10 minutes of the fire test, partial detachment of the gypsum plasterboards was observed, thereby confirming the temperature measurements. On the basis of the rapid temperature increase recorded behind the rock-wool insulation, it may be inferred that the insulation detached almost immediately after being directly exposed to fire, i.e. following the failure of the gypsum plasterboards. This interpretation was further confirmed by visual observations after the test.

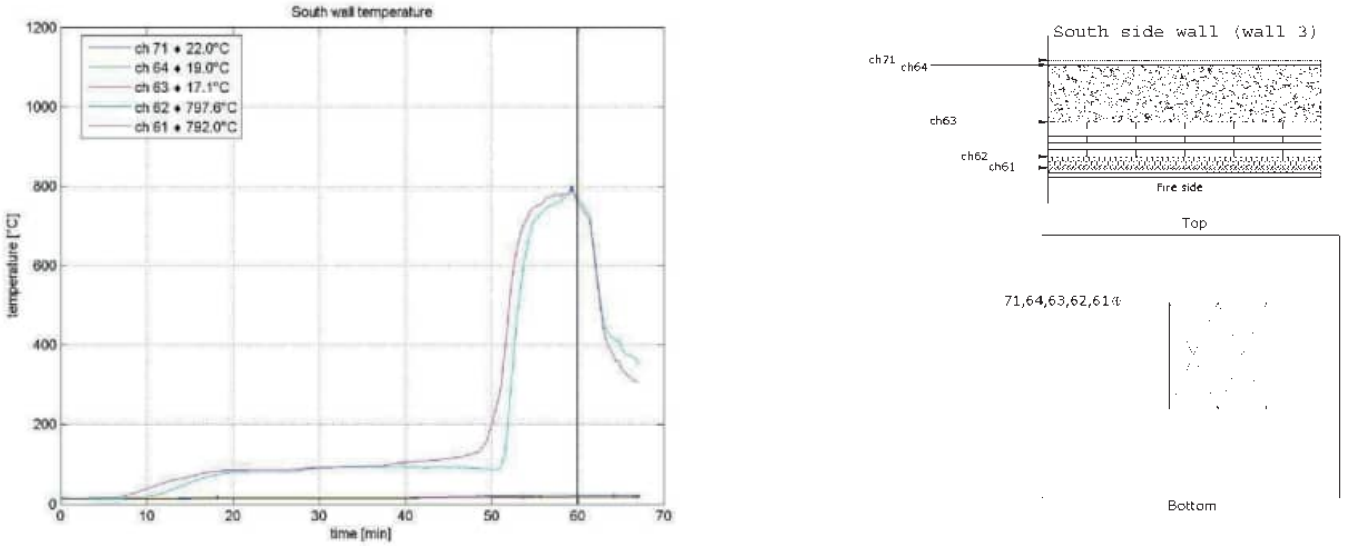


Fig. 8 Temperatures measured at the interface of the different layers of the South side wall (see figure 2 for the position of the wall)

Figure 9 reports the temperatures measured at the interfaces between the different layers of the fire-room ceiling (see Figure 9, right, for the thermocouple locations). Only one layer of gypsum plasterboard was used on the ceiling. The results show that the temperature behind the gypsum plasterboard increased rapidly after approximately 35 minutes. On the basis of the measured temperatures, failure, i.e. detachment, of the gypsum plasterboard likely occurred after approximately 40 minutes, while failure of the rock-wool insulation occurred after approximately 45 minutes.

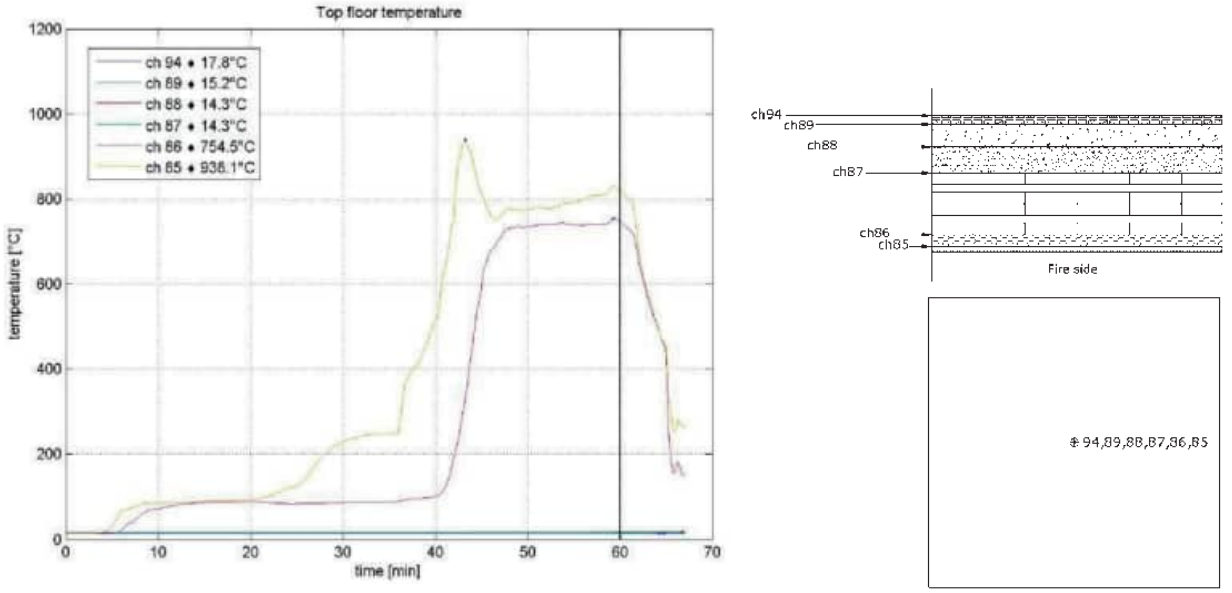


Fig. 9 Temperatures measured at the interface of the different layers of the ceiling of the fire room

DAMAGES

After the fire test, it was observed that the gypsum plasterboards in the fire room had completely detached, confirming both the visual observations made during the test and the temperatures measured within the wall and floor assemblies. Conversely, the rock-wool insulation remained partially in place, thereby providing partial protection against charring of the timber surface. The charring depth of the wall and floor assemblies was measured using a 300 mm grid. Figure 10 shows, as an example, the measured charring depths for the east-side wall. The charring depth ranged between 5 and 10 mm. Similar results were also obtained for the other walls and for the ceiling.

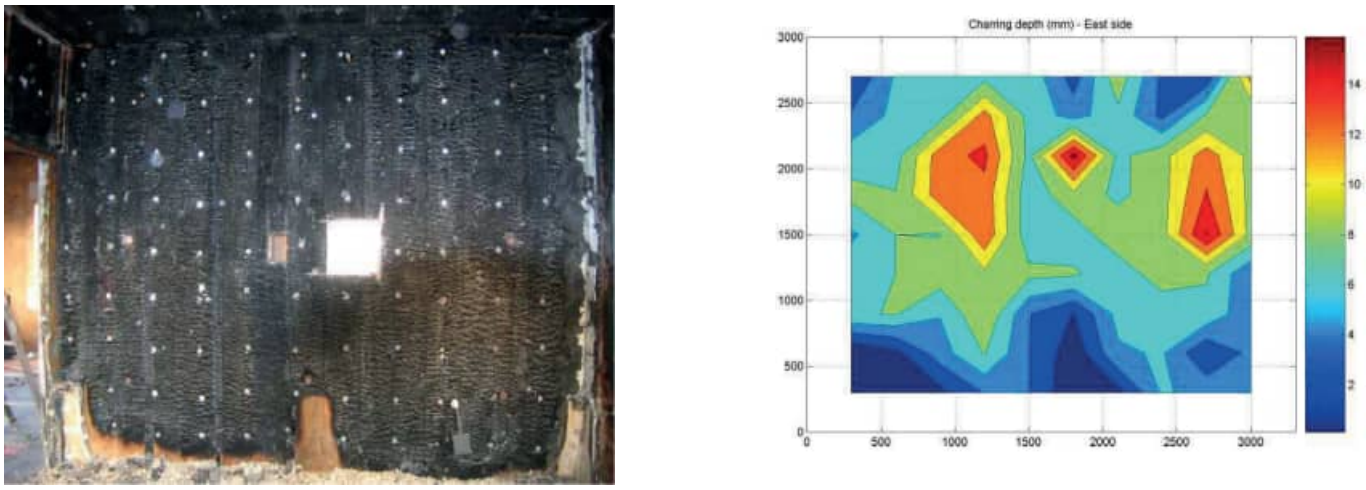


Fig. 10 Charring depth measured on the East side wall after the fire test

CONCLUSIONS

The natural full-scale fire test performed on the three-storey building constructed with CLT panels demonstrated the effectiveness of appropriate structural fire-protection measures in limiting fire spread within a timber structure. The CLT panels, protected by one or two layers of non-combustible gypsum plasterboard, maintained a satisfactory level of performance during the planned 60-minute fire exposure. No significant temperature increase or smoke penetration was observed in the room above the fire compartment, indicating that vertical fire spread was successfully prevented. Although the gypsum plasterboards detached during the later stages of the test, the resulting damage to the CLT panels remained limited, with only relatively minor charring observed. Overall, the test results support the feasibility of using protected CLT panel systems in multi-storey timber buildings, provided that suitable fire-protection and compartmentation strategies are implemented.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper consists of the revised version of the following conference paper:

Frangi, A., Lauriola, M. P., Bochicchio, G., and Ceccotti, A., “Natural Full-Scale Fire Test on a Three-Storey XLam Building”, Proceedings of the World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008. The authors were affiliated with the Institute of Structural Engineering, ETH Zurich, Switzerland; Timber Engineering, Florence, Italy; and CNR-IVALSA, San Michele all’Adige, Italy.

The contribution of the authors of the original paper is gratefully acknowledged.

REFERENCES

[1] EN 1995-2:2004, Eurocode 5: Design of Timber Structures — Part 2: Bridges, CEN, Brussels, 2004.

[2] EN 1363-1:1999, Fire Resistance Tests — Part 1: General Requirements, CEN, Brussels, 1999.

[3] EN 1991-1-2:2002, Eurocode 1: Actions on Structures — Part 1-2: General Actions — Actions on Structures Exposed to Fire, CEN, Brussels, 2002.

[4] Frangi, A., and Fontana, M., "*Fire Performance of Timber Structures under Natural Fire Conditions*", 8th International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS), Beijing, China, 18–23 September 2005, Proceedings edited by Hughes Associates, Baltimore, USA, ISBN 0-9545348-0-8, pp. 1111–1122.

[5] Hakkarainen, T., "Post-Flashover Fires in Light and Heavy Timber Construction Compartments", *Journal of Fire Sciences*, Vol. 20, March 2002.

[6] Sultan, M.A., "A Model for Predicting Heat Transfer through Non-Insulated Unloaded Steel-Stud Gypsum Board Wall Assemblies Exposed to Fire", *Fire Technology*, Vol. 32, No. 3, pp. 239–259, 1996.

[7] Ceccotti, A., "New Technologies for Construction of Medium-Rise Buildings in Seismic Regions: The XLAM Case", IABSE Journal *Structural Engineering International*, No. 2, pp. 156-165, 2008.

CURRICULUM VITAE

Dr. Ario Ceccotti is a civil engineer and one of the pioneers of timber engineering in Italy. Since the early 1980s, his research has focused on the structural performance of timber construction, initially at the University of Florence and subsequently as Professor at the Faculty of Architecture of the University of Venice. He later served as Director of the IVALSA-CNR Trees and Timber Institute, where he continued his work until 2013. His scientific activity has contributed to the advancement and valorisation of wood in construction through the development of timber-based products, including CLT and hybrid components. Dr. Ceccotti chaired the 2010 World Conference on Timber Engineering and served as a member of the drafting panels for the ENV versions of Eurocode 5, "Timber Structures", and Eurocode 8, "Seismic Design of Structures". He has also held visiting positions at EPFL in Lausanne and UBC in Vancouver. During his appointment as visiting scientist at the Forintek Laboratory in Canada, he contributed to the development of knowledge on seismic behaviour and design in timber construction. This research activity culminated in the SOFIE test conducted in 2007 on a seven-storey CLT building on the shaking table of the NIED laboratory in Kobe, Japan. He has authored or co-authored more than 250 papers and three books, primarily in the field of timber engineering. From September 2018 to July 2021, Dr. Ceccotti served as Invited Professor of Timber Engineering at Boğaziçi University, Istanbul, Turkey.

GAZLI YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE SİSTEM SEÇİM KRİTERLERİ

Selçuk ŞANLI

ÖZET

Yangın güvenliği, yapılarda can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yangına ilk müdahalede genellikle portatif söndürme cihazları akla gelse de, bu tür ekipmanlar her zaman yeterli olmamaktadır. Özellikle mesai saatleri dışında işletmelerde yangının geç fark edilmesi veya müdahalenin gecikmesi, yangının büyümesine ve daha ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, otomatik yangın algılama ve söndürme sistemleri yangına erken aşamada müdahale edebilmek açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Türkiye binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelikte, belirli kullanım amacına sahip binalarda otomatik söndürme sistemlerinin kurulması zorunlu tutulmaktadır. Bununla birlikte, suyun söndürme açısından uygun olmadığı ya da kullanılması durumunda ek zarar oluşturabileceği alanlar için alternatif sistemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Özellikle elektrikli ekipmanların bulunduğu mahallerde, veri merkezlerinde, server odaları ve benzeri hassas alanlarda gazlı yangın söndürme sistemleri öne çıkmaktadır. Bu sistemler, yangını ortamın yapısını bozarak ya da kimyasal reaksiyonu durdurarak söndürmekte ve çoğu durumda ekipmanlara zarar vermemektedir.

Bu çalışmada, gazlı yangın söndürme sistemlerinin temel özellikleri ele alınmakta ve farklı sistemlerin hangi koşullarda tercih edilmesi gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bu kapsamda, gaz türleri, ortamın fiziksel özellikleri, insan sağlığına etkiler, sürdürülebilirlik sistem maliyeti ve mevzuat gereklilikleri gibi başlıca seçim kriterleri değerlendirilmektedir. Amaç, yalnızca maliyete göre değil, uygulamanın ihtiyaçlarına uygun ve dengeli bir sistem seçimi yapılmasına katkı sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Gazlı yangın söndürme sistemleri, yangın güvenliği, sistem seçimi, otomatik söndürme sistemleri, yangın yönetmeliği

CHARACTERISTICS AND SELECTION CRITERIA OF GAS FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

ABSTRACT

Fire safety is of paramount importance in preventing loss of life and property in buildings. While portable extinguishers are often the first thing that comes to mind for initial fire response, such equipment is not always sufficient. Especially in businesses outside of working hours, delayed fire detection or intervention can lead to the fire spreading and more serious consequences. Therefore, automatic fire detection and suppression systems provide a significant advantage in terms of early intervention.

The Turkish regulation on fire protection in buildings mandates the installation of automatic extinguishing systems in buildings with specific uses. However, alternative systems should be preferred for areas

where water is unsuitable for extinguishing or where its use could cause additional damage. Gaseous fire suppression systems are particularly prominent in sensitive areas such as those containing electrical equipment, data centers, server rooms, and similar locations. These systems extinguish the fire by disrupting the environment or stopping the chemical reaction, and in most cases, do not damage the equipment.

This study examines the basic characteristics of gaseous fire suppression systems and discusses the conditions under which different systems should be preferred. In this context, key selection criteria such as gas types, physical characteristics of the environment, effects on human health, sustainability system cost, and regulatory requirements are evaluated. The aim is to contribute to the selection of a system that is suitable and balanced for the application's needs, not just based on cost.

Keywords: Gas fire extinguishing systems, fire safety, system selection, automatic extinguishing systems, fire regulations

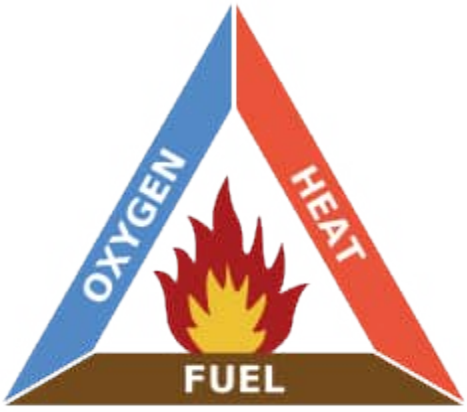
1. GİRİŞ

İnsanların bulunduğu binalarda yangın açısından güvenli bir şekilde yaşamlarını sürdürmelerini amaçlayan pek çok farklı algılama ve söndürme sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler çeşitli mevzuat, yönetmelik ve standartlarda tanımlanmış olsa da hangi sistemin hangi lokasyonda ne şekilde uygulanacağı konusunda belirgin bir ayrım bulunmamaktadır. Belirli bir mahali korumak için birden fazla sistem uygun olabilmektedir.

Bu çalışmada, gazlı yangın söndürme sistemlerinin temel özellikleri ele alınmakta ve farklı sistemlerin hangi koşullarda tercih edilmesi gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bu kapsamda, gaz türleri, ortamın fiziksel özellikleri, insan sağlığına etkiler, sürdürülebilirlik sistem maliyeti ve mevzuat gereklilikleri gibi başlıca seçim kriterleri değerlendirilmektedir.

2. GAZLI SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN TEMELLERİ

En temel düzeyde bir yangının başlayabilmesi için çeşitli bileşenlerin bir araya gelmesi gerekmektedir. Oksijen, Isı ve Yanıcı madde ile bu maddeler arasında meydana gelen zincirleme reaksiyon yangın üçgeni olarak tanımlanan ve kabul gören yapıyı ortaya çıkarmaktadır. Bu bileşenlerden herhangi birini veya birkaçını ortadan kaldırmak yangın olayının meydana gelmesini engelleyecektir. Söndürme sistemlerinin kurgulanma şekilde genellikle bu bileşenlere müdahale etmek üzerinedir.



Şekil 1. Yangın üçgeni

Su bazlı, gazlı ve kuru kimyasal gibi farklı türde pek çok söndürücü madde tutuşma sıcaklıklarını düşürmek, oksijen seviyesini azaltmak veya zincirleme reaksiyonu engellemek suretiyle yangını söndürmeyi hedefler. Gazlı söndürme sistemleri de bu söndürücüler arasında karşımıza en çok çıkan sistemlerden biridir.

2.1. Gazlı Söndürme Sistemlerinde Kullanılan Gaz Türleri

Günümüzde gazlı yangın söndürme sistemlerinde en sık kullanılan gaz türleri;

- Inert gazlar
- Halokarbonlar
- Karbondioksit

şeklindedir.

Inert gazlar ve karbondioksit (CO2) havada yer alan ve daha kolay ulaşılan gazlardandır. Inert gazlar saf inert şeklinde kullanılabildiği gibi (IG-01 100% Argon ve IG-100 100% Nitrojen) bunların karışımları şeklinde de (IG-55 50% Argon & 50% Nitrojen, IG-541 40% Argon 52% Nitrojen ve 8% CO2) kullanılabilmektedir. Inert sistemler uygulandıkları ortamdaki oksijen konsantrasyonunu 10-12% aralığına düşürerek yangın üçgeninde yer alan oksijen ayağına müdahale eder ve yangının söndürülmesini sağlar. Inert gazlar silindir içerisinde fiziki olarak gaz formundadır.

Halokarbonlar tanım olarak Flor, klor, brom veya iyot elementlerinden bir veya daha fazlasını içeren bir ya da birden fazla organik bileşiği temel bileşenler olarak barındıran maddelerdir [1]. Sentetik söndürücü olarak tanımladığımız yani laboratuvar ortamında elde edilen bu söndürücülerin en yaygın olarak bilinenleri HFC-227ea ve FK-5-1-12'dir. Temelde söndürücü madde olarak ilgili mahale boşaltıldıklarında ortam ısısını düşürerek yangının söndürülmesini sağlar. Halocarbonlar ve karbondioksit silindir içerisinde fiziki olarak sıvı formundadır.

3. GAZLI SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN KARAKTERİSTİKLERİ

Gazlı söndürme sistemlerinin karakteristiklerini bilmek sistem seçiminde karar alırken hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiğini anlamaya yardımcı olacaktır. Yani sistem seçiminde farklı bir bakış açısı kazandıracaktır. Güvenlik, alan, hız, sürdürülebilirlik, yapısal ihtiyaçlar ve servis devamlılığı bu karakteristiklerden bazılarıdır.

3.1. Güvenlik

Gazlı söndürme sistemlerinin uygulandığı odalarda yer alabilecek veya kazara deşarj sonrası söndürücü gaza maruz kalacak personelin güvenliği azami dikkat gösterilmesi gereken hususlardandır.

Gazlı söndürme sistemleri farklı şekillerde yangına etki etmektedir. İnsan sağlığı açısından oksijen azami öneme sahiptir. Inert gazlar oksijen seviyesini 10-12% arasına veya daha aşağı çekerek yangını söndürmeyi hedefler. Havada 20,9% seviyesinde bulunan oksijenin azalması insan sağlığı üzerinde farklı etkiler yapmaktadır. Örneğin;

Hac.%O2 vol% ve insanlar üzerindeki etkileri	
21	Normal durum
20 19 18 17	Bozulma yok
16 15 14 13 12	Güçlü yorgunluk, Durumu yargılama yeteneğinde azalma, Tehlikeyi hafife alma, Acıya karşı duyarsızlık
11 10 9 8	Baş dönmesi, Mide bulantısı, Kusma, Uyuşukluk, Bilinç kaybı
7 6 5	Ölüm

Tablo 1. Oksijen seviyelerinin insan üzerindeki etkileri

Inert sistemlerde kullanılan silindirler belirli miktarlarda gaz içermekte ve sistem tasarımlarında silindir miktarı doğrultusunda sistem kapasitesi belirtilmektedir. Bu sebeple kritik hesapların yapıldığı alanlarda eşik değerlerinde aşılması muhtemeldir.

Standartlarda gaz türlerine göre maruz kalınabilecek sınır değerler mevcuttur. Tasarımların bu değerlere uygun olarak yapılması, gerektiği durumlarda ilave önlemler alınması gerekmektedir. Örneğin Inert gazlı söndürme sistemlerinde NOAEL (No Observed Adverse Effect Level_Hiçbir olumsuz toksikolojik veya fizyolojik etkinin gözlenmediği en yüksek konsantrasyon) 43%, LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level_Olumsuz bir fizyolojik veya toksikolojik etkinin gözlendiği en düşük konsantrasyon) 52%'dir.

Tasarımın bu değerlerin altında veya üzerinde olması durumuna göre zaman geciktirme tertibatı, otomatik / manual anahtar kullanımı veya kilitleme tertibatı gibi ilave önlemler alınması gerekmektedir [2]. Aşağıdaki tabloda farklı aralıklar için alınabilecek önlemler gösterilmektedir.

Tablo 2. Tasarım konsantrasyonuna göre alınabilecek önlemler

En Yüksek Konsantrasyon (A)	Zaman Geciktirme Tertibatı	Otomatik/Manual Anahtar	Kilitleme Tertibatı
A ≤ NOAEL	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil
NOAEL ≤ A ≤LOAEL	Gerekli	Gerekli	Gerekli Değil
LOAEL ≤ A	Gerekli	Gerekli	Gerekli

Kaynak:EN15004-1 Tablo2 minimum güvenlik önlemleri

Farklı gazlar için örnek NOAEL ve LOAEL değerleri şu şekildedir;

Tablo 3. Farklı gazlara ait sınır değerler

Söndürücü	Tasarım Konsantrasyonu	NOAEL*	LOAEL**
FK-5-1-12	4.5-6%	10%	>10%
HFC-227ea	7-9%	9%	10.5%
Inert Gazlar	34.2-61%	43%	52%
CO2***	34-75%	<2%	2%

** NOAEL (No Observed Adverse Effect Level_Hiçbir olumsuz toksikolojik veya fizyolojik etkinin gözlenmediği en yüksek konsantrasyon)*

*** LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level_Olumsuz bir fizyolojik veya toksikolojik etkinin gözlendiği en düşük konsantrasyon)*

****Maruz kalma süresine bağlı olarak ayrıca bknz. ISO6183 -NFPA12*

Tasarım yaparken kullanılan tasarım konsantrasyon değerlerinin, NOAEL ve LOAEL değerlerine olan uzaklık veya yakınlık tasarım emniyetini ve personel güvenliğini etkileyen önemli hususlardandır.

3.2. Alan

Gazlı söndürme sisteminde kullanılacak gaz çeşitli boyutlardaki kaplarda depolanmaktadır. Halokarbon sistemlerde silindir kapasiteleri üreticilere göre ufak farklılıklar gösterse de Inert sistemlerde ve karbondioksit sistemlerde belirli kapasite ve hacimler standartlaşmıştır.

Tablo 4.Belirli bir alan için gerekli kapasite/alan tablosu

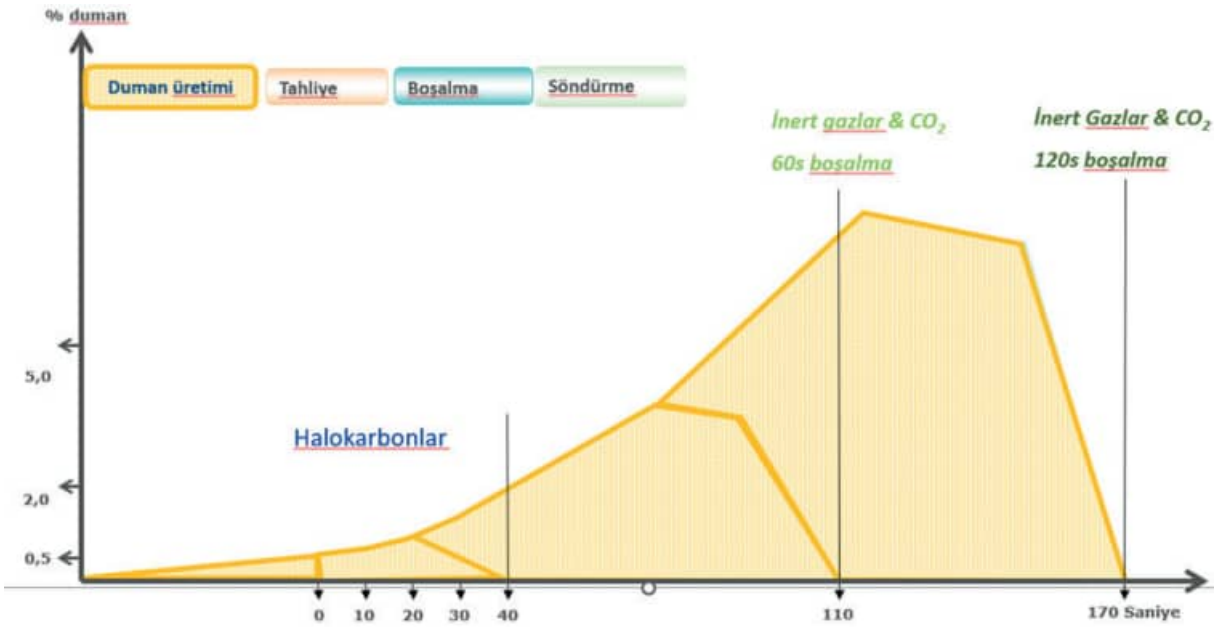
Söndürücü Gaz (Kapasite & Basınç)	Silindir Miktarı	Gaz Miktarı (kg)	Silindirlerin Kapladığı Alan (m2)
Inert (80lt-200bar)	37	4500	4.3
CO2	30	4100	3.2
Inert (80lt-300bar)	27	4100	3.2
Inert (140lt-300bar)	16	4100	3.0
Halocarbon	4	1500	0.9

EN/ISO Higher Class A'ya göre 1000m³ korumak için gerekli silindir alanı

Aynı mahal farklı söndürücü gazlar ile söndürülebilmektedir. Buna bağlı olarak pek çok durumda gazlı söndürme sistemine ait silindirlerin kapladığı alan tercih noktasında ön plana çıkmaktadır. Aynı koruma hacmi için gerekli söndürücü miktarına bağlı olarak inert gaz sistemleri birçok uygulamada daha fazla silindir hacmine ihtiyaç duyabilmektedir.

3.3. Hız

Söndürücü maddenin ilgili mahale deşarj süresi standartlarda tanımlanmıştır. Bu süre halokarbonlarda 10 saniye, Inert sistemlerde ise 60 veya 120 saniyedir. Karbondioksit sistemlerde lokal uygulama en az 30 saniye, toplam koruma olan hacimlerde 60 saniye olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirtilen süreler ilgili tasarım konsantrasyon değerinin 95% inin ilgili mahale boşalması için geçen süredir [1,2]. Bu süre yani boşaltım hızı farklı açılardan önem arz etmektedir. Yangın başladığında genellikle duman oluşumu gözlenmektedir. Ve duman yangın sönene kadar devam etmektedir.



Şekil 2. Duman üretim eğrisi

Duman ile birlikte çeşitli zehirli gazlar ortama yayılmakta ve kalıntılar bırakmaktadır. Yangın söndürme sisteminin hızlı bir şekilde devreye girip bir an evvel yangını söndürmesi yangının etkileri ile birlikte yanma ürünlerininde oluşturacağı etkileri durdurmuş olacaktır. Yani ikincil hasar olarak tarif edebileceğimiz hasarları azaltacaktır. Şekildende görüleceği üzere halokarbon sistemlerde tahliye boşaltım ve söndürme süreleri dikkate alındığında her ne kadar gaz deşarj süresi 10 saniye olsa da söndürme evresine geçene kadar 40 saniye geçmektedir. Inert sistemlerde bu süre 120 saniye boşaltım süresi ile beraber 170 saniyelere kadar ulaşabilmektedir. Bu açıdan deşarj süreleri halokarbon sistemlerde daha kısa olduğundan oluşacak ikincil hasarlarda daha az olacaktır.

3.4. Sürdürülebilirlik

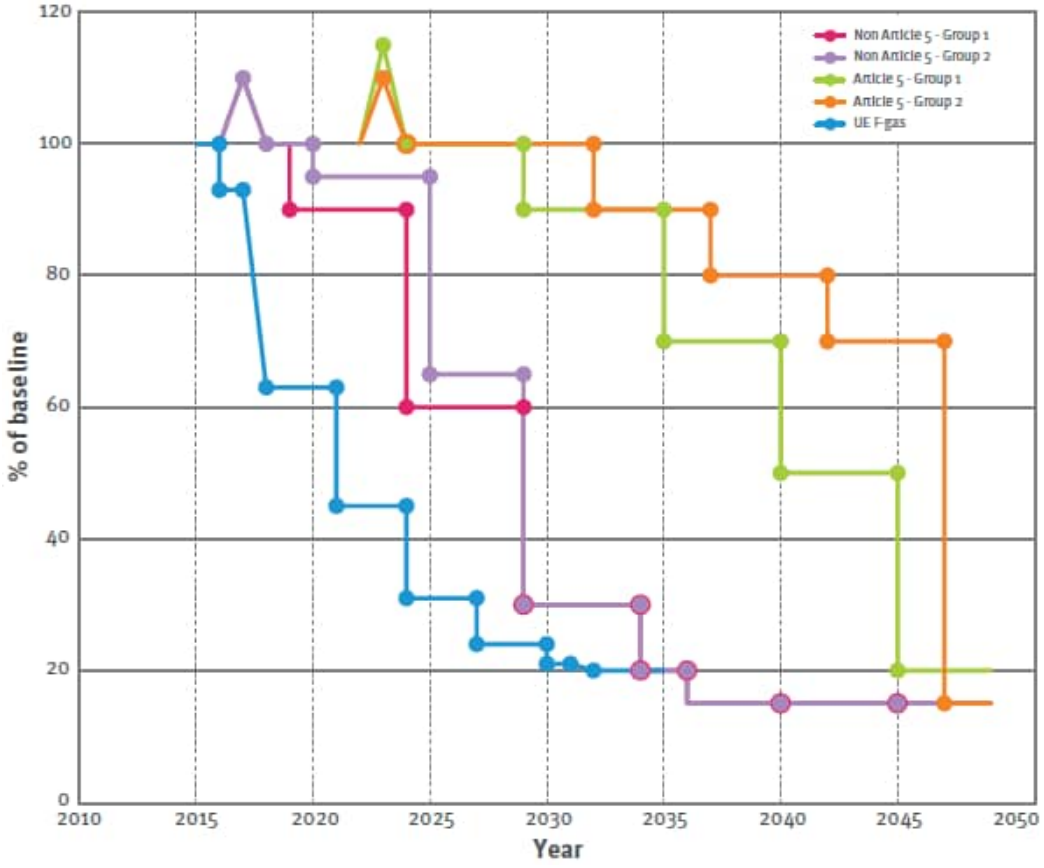
Herhangi bir yangın söndürme sistemi kurgulanırken hem çevreye duyarlı bir sistem olması hem de mümkün olduğunca uzun süre tesise hizmet etmesi istenmektedir. Günümüzde halokarbon sistemler popüler olmakla beraber sentetik gaz olmaları nedeniyle çevresel etkilerininde gön önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle ülkemizinde de taraf olduğu Montreal Protokolünde alınan kararla HFC (HydroFluoroCarbon)'lerin kullanımdan kaldırılması kararı alınmış ve kademeli azaltım (Phase-down) süreci başlamıştır. Buna göre belirlenen takvimle ülkeler belirli bir süre içerisinde HFC kullanımını sonlandıracaktır. Bu süreçte etken olan durum HFC'lerin küresel ısınma üzerinde etkin rol oynamasıdır. Yangın söndürme sistemleri açısından en sık karşılaştığımız HFC-227ea bu sürece dahildir.

Tablo 5. Farklı gazların küresel ısınma potansiyelleri

Özellikler	Inert Gazlar	CO2	FK-5-1-12	HFC-227ea
Atmosferik Ömür (Yıl)	0	0	0.014	33
Ozon Tüketme Potansiyeli (ODP)	0	0	0	0
Küresel Isınma Potansiteli (100 Yıllık Zamanda) (GWP)	0	0	1	3220

HFC'lerin küresel ısınmaya etkileri karbondioksit eşlenikleri ile ifade edilmektedir. Yani 1kg HFC atmosfere

salındığından ne kadar CO2 kadar etki oluşturduğu belirlenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere HFC-227ea atmosfere salındığında küresel ısınma potansiyeli 3220 olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani 1kg HFC-227ea atmosfere salındığında 3220 kg CO2 salınmış gibi bir etki yapmaktadır.



Kaynak: Birleşmiş Milletler Endüstriyel Kalkınma Örgütü olan UNIDO tarafından yayınlanan *"Way to go with UNIDO - Mapping the HFC phase-down"* ile Climate & Clean Air Coalition (CCAC) raporları [7]

Şekil 3. Kademeli azaltım takvimi

Ülkelerin kademeli azaltım için izleyecekleri takvim yukarıdaki grafikte belirtilmiştir. Bu sürece dahil olan ülkemizde de Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu yönetmelik kapsamında çeşitli önlemler alınmaktadır. Şu an için herhangi bir yasak olmasa da ilave önlemler ve izleme, kota işlemleri başlamıştır.

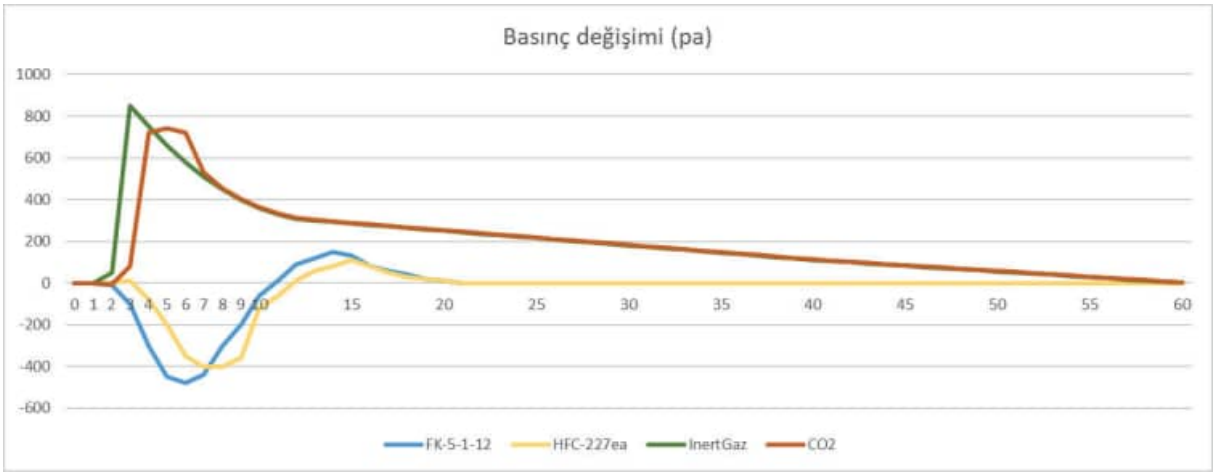
FK-5-1-12 için herhangi bir yaptırım veya kısıtlama bulunmamakla beraber PFAS süreçleri kapsamında izleme yapılmaktadır. Öte yandan Inert sistemlerde kullanılan gazlar atmosferde yer alan gazlar olduğundan herhangi bir kısıtlama veya engele tabi olmamakta, çevreye herhangi bir zarar vermemektedir.

3.5. Yapısal İhtiyaçlar

Gazlı söndürme sistemlerinin kurulabilmesi ve efektif bir şekilde işletilebilmesi için çeşitli yapısal ihtiyaçlar ve gereklilikler söz konusudur. Özellikle temiz gazlı söndürme sistemi uygulanacak mahalin sızdırmaz olması gerekli şartlardandır. Sistemler belirli bir söndürme konsantrasyon değerine göre hesaplanmaktadır. İlgili mahale gaz boşaltıldıktan sonra 10 dakikalık bekleme süresini sağlayabilmelidir. Bu süre sonunda mini-

mum konsantrasyon değerinin 85% inden daha aşağıda bir konsantrasyon gözlemlenmemelidir [1,2,4]. Bu yüzden sızdırmaz olmayan yani açıklık olan mahallerde söndürme için gerekli konsantrasyona ulaşılamayacak veya bekleme süresi sağlanamayacaktır. Bu durumu engellemek için sistem devreye alınmadan önce mahallerin sızdırmazlık testleri (Örneğin; Door Fan Test-Kapı Fan Testi) yapılmalı mevcut açıklıklar uygun izolasyon malzemeleri ile kapatılmalıdır. Ayrıca periyodik olarak yılda 1 defa veya ilgili mahalde sızdırmazlığı bozacak bir faaliyet meydana geldikten sonra tekrar kontrol sağlanmalıdır. Sızdırmazlığın sağlanması iklimlendirme verimliliğini arttırmaya yardımcı olacaktır.

Öte yandan tamamen sızdırmaz odalarda basınç rahatlatma sağlanmazsa istenmeyen durumlar gözlenebilir. Duvar, kapı, pencere gibi yapısal elemanlarda deformasyonlar meydana gelebilir.



Şekil 4. Basınç değişim eğrisi

Gazlı söndürme sistemlerinde ilgili mahale boşalan gaz pozitif veya negatif yönde basınç oluşumuna sebebiyet vermektedir. Yapısal bütünlüğün korunması açısından bu basınç değişimlerini bertaraf edebilecek "Relief Damper_Rahatlatma Damperleri" kullanılmalıdır. Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere özellikle Inert ve CO2 gazlı sistemler ilgili mahallerde pozitif yönde bir basınç artışına sebebiyet vermektedir. Halokarbonlarda ise ağırlıklı olarak negatif ve bir miktarda pozitif basınç görülmektedir. Bu yüzden pozitif basınç olan hacimlerde tek yönlü, pozitif ve negatif basıncın olduğu yerlerde iki yönlü veya ayrı ayrı tek yönlü basınç rahatlatma damperi kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca rahatlatma damperlerinin mümkünse atmosfere açılması değilse kanallar vasıtasıyla atmosfere taşınması tavsiye edilmektedir.

3.6. Servis Devamlılığı

Bir tesis kurmak kadar bu tesisin sorunsuz ve kesintisiz işletilmesi de önemlidir. Olası kaza veya istenmeyen durumlarda sistemin yeniden işletmeye alınması için harcanan sürenin uzun olması işletme açısından maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Inert gazlı, FK-5-1-12 veya HFC-227ea gazlı sistemler genellikle kalıntı bırakmamaları ve elektrik iletkenliklerinin olmaması nedeniyle özellikle elektrik odaları, server odaları, hassas ekipmanların olduğu alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu gibi alanlarda sulu sistemler, tozlu sistemler vb kullanılması sadece yangından etkilenen ekipmanların değil temas ettiği tüm alanlarda ve ekipmanlarda kalıntı, nem ve deformasyona sebebiyet verebilmektedir. Bu gibi durumlarda sistemin yeniden ayağa kaldırılması çok daha uzun süre almakta ve görünen ve görünmeyen kayıplara sebep olmaktadır.

Öte yandan özellikle inert gazlı söndürme sistemlerininde sebep olabileceği bazı istenmeyen durumlar olabilmektedir. Özellikle veri depolama cihazlarında hareketli diskler kullanıldığında ses seviyesi ve sesin sebep olduğu titreşimler kritik olabilmektedir. Inert sistemlerin uzun boşalma süreleri yüksek sese ve titre-

şime sebebiyet verebilmekte, hassas ekipmanlar bundan etkilenebilmektedir. Bu durumu engellemek için susturucu olarak tariflenen ilave aparatlar kullanılabilmekte veya daha düşük ses seviyesine sahip sistemler kullanılabilmektedir. Katı ekipmanlar bu etkiden muaftır.

Sistemin boşaltım sonrası yeniden doldurulması bir diğer önemli konudur. Gazlı sistemler genellikle tek seferlik veya yedeklilik durumlarına göre birkaç seferlik kullanıma sahip sistemlerdir. Diğer bir ifade ile kesintisiz kaynağa sahip sistemler değildir. Bu yüzden boşaldıktan sonra sistemin herhangi bir yangın durumuna karşı yeniden doldurulması ve bunun hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu noktada universal tedarik noktalarından hızlıca temin edilebilecek karışım olmayan gazlar ön plana çıkmaktadır.

4. GAZLI SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN SEÇİM KRİTERLERİ

Tüm bu karakteristikler dikkate alındığında sistem seçilirken sadece ürün birim maliyeti değil ilave gelebilecek durumlarda dikkate alınmalıdır. Bu konuda sistemlerin birbilerine göre durumları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu tablo ile kesin sınırlar çizilmese de seçim yaparken faydalı olacağı öngörülmektedir.

Seçim Kriterleri		FK-5-1-12	HFC-227ea	Inert	CO2	Ne zaman Önemli
Güvenlik	*Bu odalarda çalışan ve potansiyel olarak yangın olayına katılan personel için güvenlik*					*Personel odaya sıklıkla giriyorsa veya yangın esnasında kısa süre içinde olsa oda içerisinde kalması gerekecekse*
Alan	*Bastırma sistemi için gerekli alan*					*İyileştirme gereken, alan sınırlaması olan projelerde, uzağa kurulan inert gaz ihtiyacında*
Hız	*Sistemin boşalma hızı*					*Hassas ekipmanlarda, kültürel arşivlerde, küçük miktarda dumanın ikincil hasar yaratacağı yerlerde. CO2'nin oluşturacağı buzlanmaya dikkat edilmelidir.*
Sürdürülebilirlik	*Çevresel bakış açısı ve uzun dönem mevcudiyet*					*Kurulum ve yeniden dolum, uzun dönem mevcudiyet (10 yıldan fazla)*
Yapısal İhtiyaçlar	*Sistem kurulurken ne tür bir yapı dikkate alınmalı*					*Tüm sistemler için mahal sızdırmazlığı ve tüm gazlı sistemler için basınç atımı. Inert ve CO2 için ayrı kanallar.*
Servis Devamlılığı	*Sistem boşaldıktan sonra korunan ekipmanların ne zaman yeniden devreye alındığı*					*IT ekipmanları, Veri Merkezleri, her çeşit elektronik ve hassas ekipmanlar*
Toplam Maliyet	*Mühendislik ve Montaj dahil bastırma sistem donanımı ve kurulmuş sistemin ilave maliyet gerekliliği*					*Farklı sistemler karşılaştırılırken sadece sistem fiyatı değil tüm beklentiler karşılanmalıdır.*

Tablo 6.Gazlı söndürme sistemlerinin farklı açılardan kıyaslanması

5. SONUÇ

Yönetmelik ve standartlarda ifade edildiği üzere, bir bina, tesis veya mahal için gazlı söndürme sistemi tasarlanırken, ilgili alanın kullanım amacı, risk profili ve operasyonel ihtiyaçları dikkate alınmalıdır. Bunun yanında, tüm uygulamalar için tek bir gazlı söndürme sisteminin uygun olmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle sistem seçimi yalnızca ilk yatırım maliyetine göre değil; personel güvenliği, ihtiyaç duyulan alan, söndürme performansı, yapısal gereklilikler, çevresel sürdürülebilirlik, servis devamlılığı ve yaşam döngüsü maliyeti gibi kriterler birlikte değerlendirilerek yapılmalıdır. Sonuç olarak, doğru yaklaşım en düşük maliyetli veya genel kabul gören sistemi seçmek değil, uygulamanın ihtiyaçlarına en uygun çözümü belirlemektir.

6. KAYNAKLAR

[1] NFPA2001-2025 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

[2] EN15004-1 Fixed Fire Extinguishing System-Gas Extinguishing System

[3] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik

[4] VdS Guidelines for Fire Extinguishing Systems

[5] SFPE, “Handbook of Fire Protection Engineering”, Society of Fire Protection Engineers, 1995

[6] https://fssa.memberclicks.net/assets/whitepapers/FSSA%20White%20Paper%20-%20Fire%20Safety%20Systems%20Protecting%20Data%20Centers.pdf

[7] Birleşmiş Milletler Endüstriyel Kalkınma Örgütü olan UNIDO tarafından yayınlanan “Way to go with UNIDO - Mapping the HFC phase-down” ile Climate & Clean Air Coalition (CCAC) raporları

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Selçuk ŞANLI

1988’de İstanbul’da doğdu. 2006 yılında Süleyman Nazif Y.D.A. Lisesi’nden mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olarak meslek hayatına başlamıştır. Yangın söndürme sistemleri üzerine çalışmaya 2014 yılında başlamış olup 2021 yılından beri Viking Turkey Yangın Korunum Sistemleri firmasında Yangın Söndürme Sistemleri üzerine Teknik Destek Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EN 12094-1 Opsiyonel Fonksiyonları ve Gelişmiş Çapraz Zonlama (Cross-Zoning) Algoritmalarının Gazlı Söndürme Sistemlerinin Operasyonel Güvenilirliğine Etkisi

Vatan ŞENOL

ÖZET

Yangın söndürme sistemleri, can ve mal güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamakta olup, özellikle kapalı ve insan bulunan mahallerde doğru ve güvenli şekilde çalışmaları hayati önem taşımaktadır. Gazlı söndürme sistemlerinde temel amaç yangını hızlı ve etkili bir şekilde bastırmak olsa da, bu sistemlerin kontrolsüz veya yanlış zamanda devreye girmesi ciddi can kayıplarına yol açabilmektedir. Bu nedenle söndürme sistemlerinde yalnızca aktivasyon değil, aynı zamanda kontrollü ve güvenli aktivasyon da büyük önem taşımaktadır. Özellikle insan bulunan mahallerde kullanılan karbondioksit (CO_2) gazlı söndürme sistemlerinde, boşaltma öncesinde personelin güvenli şekilde tahliye edilebilmesi önemli bir gereksinimdir.

Geçmişte yaşanan ve resmi raporlarla belgelenmiş kazalar incelendiğinde, söndürme sistemlerinin ani ve uyarısız boşalması sonucu personelin ortamdan kaçacak yeterli zamanı bulamadığı ve bunun ölüm ve yaralanmalara neden olduğu görülmüştür. United States Environmental Protection Agency (EPA) tarafından yayımlanan çalışmalarda, 1975–2000 yılları arasında karbondioksit (CO_2) sistemlerine bağlı 72 ölüm ve 145 yaralanma vakası raporlanmış ve bu olayların büyük çoğunluğunun bakım ve test süreçlerinde meydana geldiği belirtilmektedir [2]. Benzer şekilde, NFPA 12 (2025), karbondioksit (CO_2) gazlı söndürme sistemlerinin insan bulunan ortamlarda kullanılabilmesi için boşaltma öncesi uyarı, yeterli gecikme süresi ve personel güvenliğini sağlayacak ek önlemlerin gerektiği durumlarda uygulanmasını zorunlu kılmaktadır [3].

Bu doğrultuda, EN 12094-1 standardında tanımlanan isteğe bağlı fonksiyonlar; söndürme sinyalinin geciktirilmesi, alarm cihazlarının farklı sinyallerle aktivasyonu ve acil iptal mekanizmaları gibi özellikler ile sistemin daha güvenli ve kontrollü çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, söz konusu fonksiyonların sistem güvenliğine etkisi, mevcut kaza verileri ve ilgili uluslararası standartlar çerçevesinde incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: EN 12094-1, Gazlı söndürme, Çapraz zonlama, Söndürme

The Effect of EN 12094-1 Optional Functions and Advanced Cross-Zoning Algorithms on the Operational Reliability of Gas Fire Suppression Systems

ABSTRACT

Fire suppression systems play a critical role in protecting life and property, and their safe and reliable operation is particularly essential in enclosed and occupied spaces. While the primary objective of gaseous fire suppression systems is to rapidly and effectively extinguish fires, unintended or uncontrolled activation can result in severe casualties. Therefore, not only system activation, but also controlled and safe activation is of paramount importance. In particular, for carbon dioxide (CO_2) fire suppression systems used in occupied areas, it is essential to ensure that personnel can be safely evacuated prior to discharge.

A review of past incidents documented in official reports indicates that sudden and unannounced system discharge has, in many cases, prevented personnel from evacuating in time, resulting in fatalities and injuries. Studies published by the United States Environmental Protection Agency report 72 fatalities and 145 injuries associated with CO_2 systems between 1975 and 2000, with the majority of incidents occurring during maintenance and testing activities [2]. Similarly, NFPA 12 (2025) requires the implementation of pre-discharge warnings, adequate time delays, and additional protective measures where CO_2 systems are used in occupied spaces [3].

In this context, the optional functions defined in the EN 12094-1 standard—such as the delay of the extinguishing signal, the activation of alarm devices with different signals, and emergency abort mechanisms—aim to ensure safer and more controlled operation of the system. In this study, the impact of these functions on system safety was examined within the framework of existing accident data and relevant international standards.

Key words: EN 12094-1, Gas fire suppression, Cross-zoning, Fire suppression

1. GİRİŞ

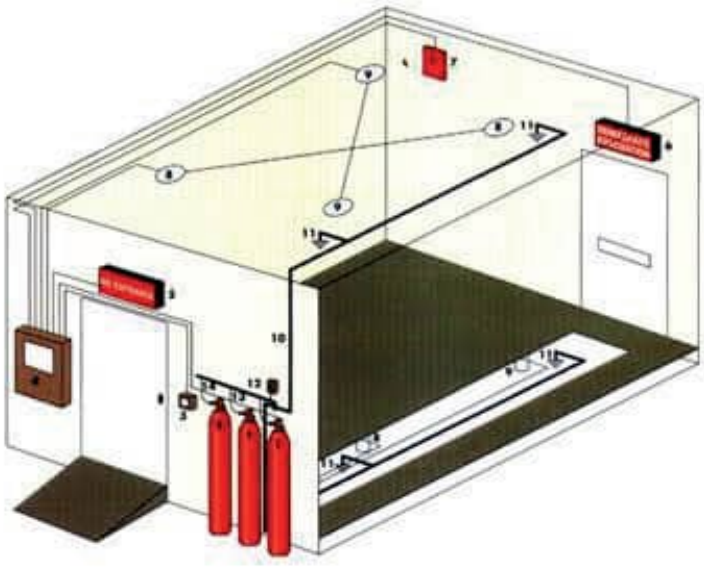
Söndürme panelinin çalışma ve test gereklilikleri EN 12094-1 standardında belirtilmiştir. Yangın güvenliğinin sağlanması için bu standarda uygun söndürme panellerinin kullanılması gerekmektedir. Standardın bazı maddeleri zorunlu temel fonksiyonları tanımlarken, bazı maddeleri ise uygulamanın ihtiyaçlarına göre kullanılabilecek opsiyonel fonksiyonları tanımlamaktadır. Opsiyonel olarak tanımlanmaları, bu fonksiyonların güvenlik açısından önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Farklı söndürme uygulamalarının farklı güvenlik ve kontrol ihtiyaçlarına sahip olması nedeniyle bu fonksiyonlar isteğe bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışma, EN 12094-1 standardının 4.17–4.30 maddeleri arasında tanımlanan opsiyonel fonksiyonları incelemeyi; bu fonksiyonların hangi durumlarda kullanılabileceğini, sağladıkları avantajları, yangın ve personel güvenliğine katkılarını ve çapraz zonlama yöntemleriyle birlikte sistemin operasyonel güvenilirliği üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. GAZLI YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİ

2.1. Gazlı Söndürme Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Gazlı söndürme sistemlerinde yangın, korunan alana yerleştirilen dedektörler aracılığıyla algılanır ve oluşan alarm bilgileri kontrol paneli tarafından değerlendirilir. Tanımlanan aktivasyon koşullarının sağlanmasının ardından personelin uyarılması, havalandırmanın durdurulması, kapıların kapatılması ve ilgili yardımcı sistemlerin kontrol edilmesi gibi söndürme öncesi işlemler gerçekleştirilebilir.



Şekil 1. Gazlı söndürme sisteminin tipik uygulama yapısı

Boşaltma öncesi uyarı süresi uygulanıyorsa, bu sürenin tamamlanmasının ardından söndürme çıkışı etkinleştirilerek söndürücü madde korunan alana boşaltılır. Sistemin aktivasyon koşulları, boşaltma öncesi gerçekleştirilecek kontrol işlemleri ve uygulanacak söndürme senaryosu; kullanılan söndürücü maddeye, korunan alanın özelliklerine ve algılama yöntemine göre değişebilmektedir.

3. EN 12094-1 STANDARDI

3.1. EN 12094-1 Standardının Kapsamı

EN 12094-1 standardı, sabit yangın söndürme sistemlerinde kullanılan elektriksel otomatik kontrol ve geciktirme cihazlarına ilişkin teknik gereklilikleri ve bu gerekliliklerin doğrulanmasında uygulanacak test yöntemlerini tanımlamaktadır. Standart; söndürme sisteminin otomatik ve manuel olarak başlatılması, alarm ve uyarıların kontrol edilmesi, söndürme çıkışlarının yönetilmesi, sistem durumlarının izlenmesi ve ilgili güvenlik fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi gibi temel işlevleri kapsamaktadır [1].

EN 12094-1 kapsamında bazı fonksiyonlar cihazın temel çalışma ve güvenlik gereklilikleri olarak zorunlu tutulurken, bazı fonksiyonlar ise uygulamanın özelliklerine bağlı olarak opsiyonel şekilde tanımlanmıştır. Bu opsiyonel fonksiyonlar, farklı söndürme senaryolarında ortaya çıkabilecek özel güvenlik ve kontrol ihtiyaçlarının karşılanmasına imkân sağlamaktadır.

3.2. Zorunlu ve Opsiyonel Fonksiyonların Ayrımı

EN 12094-1 standardında, söndürme kontrol cihazının temel çalışma ve güvenlik işlevlerini yerine getirebilmesi için bazı fonksiyonlar zorunlu olarak tanımlanmıştır. EN 12094-1 Madde 4.3.2'ye göre bu temel zorunlu fonksiyonlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Tetikleme sinyallerinin alınması ve işlenmesi: Yangın algılama ve alarm sisteminden gelen tetikleme sinyalleri ile doğrudan söndürme kontrol cihazına bağlı manuel tetikleme cihazlarından gelen sinyallerin alınması ve değerlendirilmesi.

- Söndürme sinyalinin iletilmesi: Gerekli aktivasyon koşullarının oluşmasının ardından söndürme sinyalinin, solenoid valf veya diğer ilgili aktüatörler gibi söndürme ekipmanlarına iletilmesi.

- Alarm cihazlarının etkinleştirilmesi: Söndürme senaryosuna bağlı olarak siren, flaşör veya birleşik ses-

li-görsel alarm cihazlarının etkinleştirilmesi.

- Sistem durumlarının gösterilmesi: Aktif durum, arıza uyarı durumu ve standardın tanımladığı diğer sistem durumlarının panel üzerindeki göstergeler veya ekran aracılığıyla açık şekilde gösterilmesi.
- Arıza ve bileşen durum bilgilerinin iletilmesi: Sistemde meydana gelen arıza bilgilerinin ve ilgili izleme fonksiyonunun bulunması hâlinde, izlenen bileşenlerin hatalı durumlarına ilişkin bilgilerin ilgili sistemlere aktarılması.
- Boşaltılmış durum bilgisinin iletilmesi: Söndürücü maddenin boşaltıldığını temsil eden durum bilgisinin yangın algılama ve alarm sistemi, bina yönetim sistemi veya ilgili diğer sistemlere iletilmesi.

Bu ayrım doğrultusunda, çalışmanın devamında EN 12094-1 standardının 4.17–4.30 maddeleri arasında tanımlanan opsiyonel fonksiyonlar; kullanım amaçları, çalışma prensipleri ve sistem güvenliğine sağladıkları katkılar açısından incelenmektedir.

4. EN 12094-1 OPSİYONEL FONKSİYONLARI

EN 12094-1 standardında bazı fonksiyonlar, her söndürme uygulamasında aynı ölçüde ihtiyaç duyulmaması nedeniyle "gereklilikleri bulunan opsiyonlar" olarak tanımlanmıştır. Bu fonksiyonların söndürme kontrol cihazında bulunması zorunlu değildir. Ancak üretici tarafından sunulmaları hâlinde, standardın ilgili maddesinde belirtilen teknik gerekliliklerin tamamını karşılamaları gerekir.

Opsiyonel fonksiyonlar; boşaltma öncesinde güvenli tahliye için zaman sağlanması, söndürme işlemine manuel olarak müdahale edilmesi, sistem bileşenlerinin izlenmesi, söndürme süresinin kontrol edilmesi ve diğer ekipmanların söndürme senaryosuyla koordineli şekilde çalıştırılması gibi farklı ihtiyaçlara cevap vermektedir. Bu bölümde EN 12094-1 standardının 4.17–4.30 maddeleri arasında tanımlanan opsiyonel fonksiyonlar, çalışma prensipleri ve sistem güvenliğine sağladıkları katkılar açısından incelenmektedir.

4.1. Söndürme Sinyalinin Geciktirilmesi – Madde 4.17

Söndürme sinyalinin geciktirilmesi, aktif durumun oluşmasının ardından söndürme boşaltma çıkışının belirli bir süre boyunca bekletilmesini sağlayan opsiyonel bir fonksiyondur. Bu süre standartta "boşaltma öncesi uyarı süresi" olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonun temel amacı, söndürücü madde boşaltılmadan önce personelin uyarılması ve korunan alanı güvenli şekilde terk edebilmesi için zaman sağlanmasıdır.

EN 12094-1 Madde 4.17.2'ye göre gecikme süresi 0–60 saniye arasında, en fazla 5 saniyelik adımlarla ayarlanabilmeli ve yalnızca erişim seviyesi 3'te değiştirilebilmelidir.

Madde 4.17.3'e göre ayarlanan söndürme gecikme süresi, diğer sistem bileşenlerinin çalışmasından etkilenmemelidir. Standardın 4.17.4 maddesi ise uygulanan sürenin ayarlanan değerden sapmasını ±%10 ile sınırlandırmaktadır. Örneğin 30 saniyelik bir gecikme ayarında gerçekleşen sürenin 27 ile 33 saniye arasında olması gerekir.

Gecikme süresi belirlenirken personelin tahliye koşulları ile yangına hızlı müdahale edilmesi gerekliliği birlikte değerlendirilmelidir. Gereğinden kısa bir süre güvenli tahliye için yetersiz kalabilirken, gereğinden uzun bir süre yangının büyümesine ve söndürme sisteminin etkinliğinin azalmasına neden olabilir.

4.2. Söndürücü Madde Akışını Temsil Eden Sinyal – Madde 4.18

Bu fonksiyon, söndürücü maddenin akışını temsil eden bir sinyalin elektriksel kontrol ve geciktirme cihazı tarafından alınmasını sağlar. Böylece sistem yalnızca söndürme komutunun gönderildiğini değil, söndürücü madde akışının gerçekleştiğini temsil eden geri bildirim sinyalini de değerlendirebilir.

Söndürücü madde akış sinyalinin aktif durum oluşmadan alınması hâlinde cihaz, boşaltılmış durumu oluşturmalı ve bu duruma ilişkin gerekli çıkışları etkinleştirmelidir. Bu özellik, beklenmeyen veya kontrol dışı boşaltmaların tespit edilmesine katkı sağlamaktadır. Akış sinyaline ait iletim yolları da standardın arıza izleme ve gösterim gerekliliklerini karşılamalıdır.

4.3. Sistem Bileşenlerinin Durumunun İzlenmesi – Madde 4.19

Bu fonksiyon, söndürücü madde kaybı veya sistem bileşenlerinin uygun olmayan konumda bulunması gibi durumların izlenmesini sağlar. Bir bileşenin hatalı duruma geçmesi hâlinde bu durum, meydana gelmesinden itibaren en geç 100 saniye içerisinde sesli ve görsel olarak bildirilmelidir.

Söndürme sistemlerinin uzun süre bekleme durumunda kaldığı dikkate alındığında, bileşenlerin ve söndürücü madde durumunun izlenmesi sistemin ihtiyaç anındaki kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır.

4.4. Acil Bekletme Cihazı – Madde 4.20

Acil bekletme cihazı, boşaltma öncesi uyarı süresi devam ederken söndürme sinyalinin geçici olarak engellenmesini sağlayan manuel bir güvenlik fonksiyonudur. Bekletme cihazı kullanıldığı sürece söndürme sinyali iletilmez.

Standart, acil bekletme cihazı için iki farklı çalışma sırası tanımlamaktadır. Birinci yöntemde bekletme cihazının kullanılması boşaltma öncesi uyarı süresini durdurmaz, kısaltmaz veya sıfırlamaz; süre işlemeye devam eder. Cihaz bırakıldığında uyarı süresi henüz tamamlanmamışsa kalan süre devam eder, tamamlanmışsa söndürme sinyali derhâl iletilir. İkinci yöntemde ise bekletme cihazının her bırakılmasında boşaltma öncesi uyarı süresi baştan başlatılır.

Bekletme cihazının etkinleştirilmesi panel üzerinde sesli ve görsel olarak gösterilmelidir. Cihaza ait iletim yolunda meydana gelen arıza iki saniye içerisinde algılanmalı ve arıza devam ettiği sürece söndürme sinyalinin iletilmesi engellenmelidir. Acil bekletme cihazı söndürme işlemini tamamen iptal etmez. Yalnızca cihaz kullanıldığı sürece boşaltmayı geçici olarak bekletir. Bu özelliğiyle acil iptal cihazından ayrılmaktadır. Söndürme sinyali bir kez oluşturulduktan sonra acil bekletme cihazından gelen sinyal, oluşturulmuş söndürme sinyalini etkileyemez.

4.5. Boşaltma Süresinin Kontrolü – Madde 4.21

Bu fonksiyon, söndürücü maddenin korunan alana ne kadar süre boyunca gönderileceğinin kontrol edilmesini sağlar. Özellikle düşük basınçlı karbondioksit (CO_2) sistemleri gibi söndürücü madde akış süresinin panel tarafından yönetilmesi gereken uygulamalarda kullanılabilir.

Boşaltma süresi, üretici tarafından belirlenen en düşük değerden başlayarak en az 300 saniyeye kadar ayarlanabilmelidir. Ayarlama adımları en fazla 5 saniye olmalı ve ayar yalnızca erişim seviyesi 3'te gerçekleştirilebilmelidir.

Test amacıyla, devam etmekte olan boşaltma süresinin ayrı bir manuel kontrol aracılığıyla sonlandırılabilmesi sağlanmalıdır. Bu kontrol yalnızca erişim seviyesi 3'te kullanılabilmelidir.

4.6. İkincil Boşaltmanın Başlatılması – Madde 4.22

İkincil boşaltma fonksiyonu, normal söndürme işleminin tamamlanmasından sonra korunan alana ilave söndürücü madde gönderilmesini sağlar. Bu fonksiyon özellikle düşük basınçlı karbondioksit (CO_2) sistemlerinde kullanılabilir ve bu işlev için ayrılmış manuel bir tetikleme cihazıyla başlatılabilir.

İkincil boşaltma, normal boşaltma devam ederken başlatılamaz. Normal söndürme sırası tamamlandıktan sonra ise yalnızca alarm cihazları henüz susturulmamışsa etkinleştirilebilir. Bu durumda özel manuel tetikleme cihazının çalıştırılmasının ardından ikincil boşaltma derhâl başlatılmalıdır. Alarm cihazları susturulmuş veya sistem sıfırlanmışsa ikincil boşaltma için kullanılan manuel tetikleme cihazı işlevsiz kalmalıdır.

4.7. Yalnızca Manuel Çalışma Modu – Madde 4.23

Bu fonksiyon, sistemin otomatik ve manuel çalışma modundan yalnızca manuel çalışma moduna geçirilmesini sağlar. Yalnızca manuel çalışma modunda söndürme sistemi otomatik yangın alarm sinyalleriyle etkinleştirilemez; aktivasyon yalnızca manuel tetikleme cihazlarından gelen sinyallerle gerçekleştirilebilir.

Yalnızca manuel çalışma modu, her söndürme alanı için panel üzerinde görünür şekilde gösterilmeli ve bu durumun başka sistemlere iletilebilmesi için bir çıkış sağlanmalıdır. Mod değişikliği, erişim seviyesi 2'de gerçekleştirilen manuel bir işlemle veya anahtarlı seçim cihazı gibi bir giriş sinyaliyle yapılabilir.

Bu fonksiyon bakım, test veya geçici işletme koşullarında otomatik boşaltmanın engellenmesine imkân sağlayabilir. Ancak sistemin manuel modda bırakılması otomatik korumayı ortadan kaldıracağından, mevcut çalışma modunun açık şekilde gösterilmesi önemlidir.

4.8. Sistem İçindeki Ekipmanlara Tetikleme Sinyali – Madde 4.24

Bu fonksiyon, ana söndürme çıkışına ek olarak, söndürme sistemi içerisinde bulunan diğer ekipmanlara ayrı tetikleme sinyalleri gönderilmesini sağlar. Standart bu ekipmanlara pilot tüpleri ve optik uyarı cihazlarını örnek vermektedir.

Bu çıkışlar, söndürme sistemini oluşturan farklı bileşenlerin doğru sırada ve koordineli şekilde çalıştırılmasına imkân sağlar. İlgili iletim yolları standardın arıza uyarısı, devre dışı bırakma ve gösterim gerekliliklerini karşılamalıdır.

4.9. Yedek Tüplere Söndürme Sinyali – Madde 4.25

Bu fonksiyon, söndürme sinyalinin yedek tüplere veya yedek tüp gruplarına iletilmesini sağlar. Ana ve yedek tüp gruplarının bulunduğu sistemlerde, alarm sırasında yedek tüp grubunun etkinleştirileceği panel üzerinde görünür şekilde gösterilmelidir.

Bu fonksiyon, ana tüplerin bakımda veya dolumda bulunduğu durumlarda sistemin yedek söndürücü madde kaynağıyla çalıştırılmasına imkân sağlar.

4.10. Sistem Dışındaki Ekipmanların Tetiklenmesi – Madde 4.26

Bu fonksiyon, söndürme kontrol cihazının yangın söndürme sisteminin dışında bulunan ekipmanlara tetikleme sinyali göndermesini sağlar. Kapıların kapatılması, havalandırmanın durdurulması ve ilgili tesis veya makinelerin kapatılması bu işlevlere örnek olarak verilmektedir.

Söndürme öncesinde havalandırmanın durdurulması ve açıklıkların kapatılması, söndürücü maddenin korunan alan içerisinde gerekli konsantrasyona ulaşmasına yardımcı olur. Makinelerin veya enerji kaynaklarının durdurulması ise yangının büyümesine neden olabilecek süreçlerin kontrol altına alınmasına katkı sağlar.

Sistem dışındaki ekipmanlara ait çıkışların ve iletim yollarının devre dışı bırakılma durumları uygun şekilde izlenmeli ve gösterilmelidir.

4.11. Acil İptal Cihazı – Madde 4.27

Acil iptal cihazı, sakin durumda veya aktif durumda çalıştırıldığında söndürme sinyalinin iletilmesini engeller. İptal durumu, cihaz bırakıldıktan sonra kendiliğinden sona ermez. Söndürme sinyalinin yeniden oluşturulabilmesi için iptal cihazının devre dışı bırakılması ve söndürme kontrol cihazının aktif durumdan manuel olarak sıfırlanması gerekir.

Acil iptal cihazına ait iletim yolunda meydana gelen arıza iki saniye içerisinde algılanmalı, gösterilmeli ve söndürme sinyalinin iletilmesini engellemelidir. İptal cihazının etkinleştirilmesi panel üzerinde sesli ve görsel olarak bildirilmeli ve görsel gösterim manuel sıfırlamaya kadar devam etmelidir.

Bu fonksiyon, acil bekletme cihazından farklı olarak boşaltmayı yalnızca geçici şekilde bekletmez. Mevcut söndürme sırasını kilitli biçimde iptal ederek yeniden başlatma için manuel sıfırlama yapılmasını zorunlu kılar.

4.12. Uzatılmış Boşaltmanın Kontrolü – Madde 4.28

Uzatılmış boşaltma fonksiyonu, normal boşaltmayla oluşturulan söndürücü madde konsantrasyonunun korunan alanda daha uzun süre muhafaza edilmesini amaçlamaktadır. Bu işlem, ayrı bir boru hattı üzerinden düşük debide söndürücü madde verilmesiyle gerçekleştirilebilir ve özellikle düşük basınçlı karbondioksit (CO_2) sistemlerinde kullanılabilir.

Uzatılmış boşaltma süresi, 20 dakikaya kadar veya daha uzun süreler için ayarlanabilir olmalı ve ayarlama en fazla bir dakikalık adımlarla yapılmalıdır. Test amacıyla devam eden uzatılmış boşaltmanın sonlandırılmasını sağlayan ayrı bir manuel kontrol bulunmalıdır. Bu işlemler yalnızca erişim seviyesi 3'te gerçekleştirilebilmelidir.

4.13. Seçili Söndürme Bölgelerinde Boşaltmanın Kontrolü – Madde 4.29

Bu fonksiyon, birden fazla söndürme alanına hizmet veren sistemlerde, bir alanda boşaltılmış durum oluştuktan sonra diğer alanlara ait aktüatör çıkışlarının otomatik olarak devre dışı bırakılmasını sağlar. Bu yaklaşım özellikle seçici vanaların kullanıldığı çok alanlı sistemlerde önem taşımaktadır.

Söndürücü madde boşaltmasının engellenebileceği alanlar erişim seviyesi 3'te seçilebilmeli ve seçilen kombinasyonlar tanımlanabilir olmalıdır. Boşaltmanın engellendiği bir alandan tetikleme sinyali alınması durumunda, ilgili alan yine de aktif durumda gösterilmelidir.

Otomatik olarak devre dışı bırakılan aktüatör çıkışlarının yeniden etkinleştirilmesi yalnızca söndürme kontrol cihazının sıfırlanmasından sonra mümkün olmalıdır.

4.14. Alarm Cihazlarının Farklı Sinyallerle Etkinleştirilmesi – Madde 4.30

Bu fonksiyon, boşaltma öncesi uyarı süresi ile söndürücü maddenin boşaltıldığı durumun farklı alarm sinyalleriyle bildirilmesini sağlar. Fonksiyon, söndürme sinyalini geciktirme özelliği bulunan sistemlerde uygulanabilir.

Standardın gerekliliğine göre boşaltma öncesi uyarı süresindeki alarm sinyali kesikli, boşaltılmış durumdaki alarm sinyali ise sürekli olmalıdır. Böylece korunan alandaki kişiler, sistemin boşaltma öncesi uyarı aşamasında mı yoksa söndürücü maddenin boşaltıldığı aşamada mı olduğunu alarm sinyalinin biçiminden anlayabilir.

Farklı alarm sinyallerinin kullanılması tahliye sürecinin yönetilmesine, personelin sistem durumunu doğru değerlendirmesine ve boşaltılmış alana yanlışlıkla girilmesinin önlenmesine katkı sağlamaktadır.

5. SÖNDÜRME SİSTEMLERİNDE TETİKLEME VE ÇAPRAZ ZONLAMA

Gazlı söndürme sistemlerinde söndürme işleminin hangi alarm koşullarında başlatılacağının belirlenmesi, sistemin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Tek bir alarm sinyaline dayalı aktivasyon hızlı müdahale sağlayabilmekle birlikte, iki bağımsız alarm doğrulamasına kıyasla daha düşük bir doğrulama seviyesi sunabilir. Bu nedenle bazı uygulamalarda, söndürme işleminin başlatılması için birden fazla bağımsız alarm bilgisinin doğrulanması esas alınmakta; bu amaçla çapraz zonlama gibi doğrulama yöntemleri kullanılabilmektedir.

Çapraz zonlama mantığında, söndürme işleminin başlatılması için bağımsız algılama kaynaklarından gelen alarm bilgilerinin birlikte değerlendirilmesi esas alınmaktadır. Bu bölümde tek ve çift tetikleme yaklaşımları, ön aktif durum ve farklı çapraz zonlama uygulamaları ele alınmaktadır.

5.1. Tek Tetikleme Sinyaline Dayalı Aktivasyon

EN 12094-1 standardının 4.4.1 maddesine göre söndürme kontrol cihazı, yangın algılama ve alarm sisteminden gelen en az bir tetikleme sinyalini ve doğrudan cihaza bağlı manuel tetikleme cihazlarından gelen sinyali alıp işleyebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

5.2. İki Bağımsız Alarm Sinyali ve Çapraz Zonlama

EN 12094-1 standardının 4.4.1 maddesinde yer alan açıklayıcı notta, bazı Avrupa ülkelerindeki ulusal düzenlemelerin aktif durumun oluşturulması için yangın algılama ve alarm sistemi ile söndürme kontrol cihazı arasındaki iki bağımsız iletim yolundan iki ayrı tetikleme sinyalinin alınmasını zorunlu tuttuğu belirtilmektedir.

EN 12094-1 bu gereklilik için doğrudan “çapraz zonlama” terimini kullanmamaktadır. Bununla birlikte, aktif durumun iki bağımsız tetikleme sinyalinin alınmasına bağlı olarak oluşturulması, uygulamada kullanılan çapraz zonlama ve çoklu alarm doğrulama yaklaşımlarının temel mantığıyla örtüşmektedir.

Bu yöntemde ilk alarm sinyali sistemin ön aktif duruma geçmesini sağlayabilir; ancak tek başına söndürme

boşaltmasını başlatmaz. İkinci bağımsız alarm sinyalinin alınmasının ardından aktif durum oluşturularak söndürme senaryosu başlatılır. Böylece tekil dedektör arızaları veya çevresel etkilerden kaynaklanabilecek istenmeyen boşaltmaların azaltılması amaçlanır.

5.3. Ön Aktif Durum

EN 12094-1 standardının 4.9.3 maddesine göre aktif durumun iki tetikleme sinyalinin alınmasından sonra oluşturulduğu sistemlerde, ilk sinyalin alınması sesli ve görsel olarak "ön aktif durum" şeklinde gösterilmelidir.

İlk tetikleme sinyalinin alınmasıyla birlikte havalandırmanın durdurulması veya diğer yardımcı sistemlerin kontrol edilmesi gibi ön işlemler gerçekleştirilebilir. İkinci bağımsız tetikleme sinyalinin alınmasının ardından aktif durum oluşturularak söndürme senaryosunun sonraki aşamasına geçilir.

5.4. Gelişmiş Çapraz Zonlama Yöntemleri

Çapraz zonlama, söndürme kararının tek bir alarm bilgisine dayandırılması yerine birden fazla alarm bilgisinin birlikte değerlendirilmesini sağlayan bir doğrulama yaklaşımıdır. Bu mantığın uygulanma biçimi, kullanılan söndürme kontrol panelinin konvansiyonel veya adresli yapıda olmasına göre değişebilmektedir.

Aşağıda açıklanan yöntemler EN 12094-1 standardında ayrı ayrı tanımlanmış zorunlu çapraz zonlama algoritmaları değildir. Bunlar, iki bağımsız alarm sinyaline dayalı söndürme mantığının farklı sistem yapılarında uygulanabilecek biçimlerini açıklamaktadır.

5.4.1. Farklı Algılama Zonlarına Dayalı Çapraz Zonlama

Bu yöntemde korunan alan birbirinden bağımsız en az iki algılama bölgesi tarafından izlenir. Birinci bölgeden alarm alınması ön aktif durumu oluştururken, ikinci bağımsız bölgeden de alarm alınmasıyla söndürme koşulu sağlanır.

Bu yöntem özellikle konvansiyonel söndürme kontrol panellerinde kullanılmaktadır. Konvansiyonel panel, alarm veren dedektörü ayrı ayrı tanımlamak yerine dedektörün bağlı bulunduğu bölgenin alarm durumunu algılar. Bu nedenle çapraz zonlama işlemi, aynı bölgeye bağlı dedektörlerin sayısına göre değil, farklı algılama bölgelerinden alınan alarm sinyallerine göre gerçekleştirilir.

5.4.2. Farklı Algılama Teknolojilerine Dayalı Çapraz Zonlama

Bu yöntemde yangının doğrulanması amacıyla farklı algılama prensiplerine sahip dedektörlerden yararlanılabilir. Örneğin duman ve ısı algılama teknolojilerinden gelen bağımsız alarm bilgilerinin birlikte oluşması söndürme koşulu olarak belirlenebilir.

Konvansiyonel söndürme panellerinde farklı algılama teknolojilerinin bağımsız şekilde değerlendirilebilmesi için bunların ayrı algılama bölgelerine bağlanması gerekir. Adresli algılama ve söndürme fonksiyonlarını birleştiren panellerde ise farklı dedektörlerden gelen alarm bilgileri adres seviyesinde değerlendirilerek neden-sonuç senaryolarına dâhil edilebilir.

Farklı algılama teknolojilerinin birlikte kullanılması, tek bir algılama yöntemini etkileyebilecek çevresel koşullardan kaynaklanan yanlış alarm riskini azaltabilir. Ancak seçilen dedektörlerin beklenen yangın türüne

uygun olması ve ikinci alarmın oluşmasının söndürme işlemini tehlikeli şekilde geciktirmemesi gerekir.

5.4.3. Adresli Söndürme Panellerinde Çoklu Alarm Doğrulaması

Adresli yangın algılama ve söndürme fonksiyonlarını aynı cihaz üzerinde birleştiren kontrol panelleri, loop hattına bağlı dedektörlerden gelen alarm bilgilerini adres seviyesinde değerlendirebilmektedir. Bu panellerde söndürme koşulu, farklı adresli dedektörlerden veya tanımlanmış algılama gruplarından gelen birden fazla alarm bilgisine göre oluşturulabilir.

Örneğin aynı söndürme alanında bulunan iki farklı adresli dedektörden alarm alınması, söndürme sürecinin başlatılması için gerekli doğrulama koşulu olarak programlanabilir. Böylece sistem, tek bir dedektörden gelen alarm sonucunda söndürme çıkışını etkinleştirmek yerine ikinci alarm bilgisinin alınmasını bekleyebilir.

Bununla birlikte, aynı haberleşme hattı üzerinde bulunan iki adresli dedektörden alınan alarm bilgilerinin kullanılması ile EN 12094-1 Madde 4.4.1 notunda belirtilen iki bağımsız iletim yolu gerekliliği aynı teknik kavram olarak değerlendirilmemelidir.

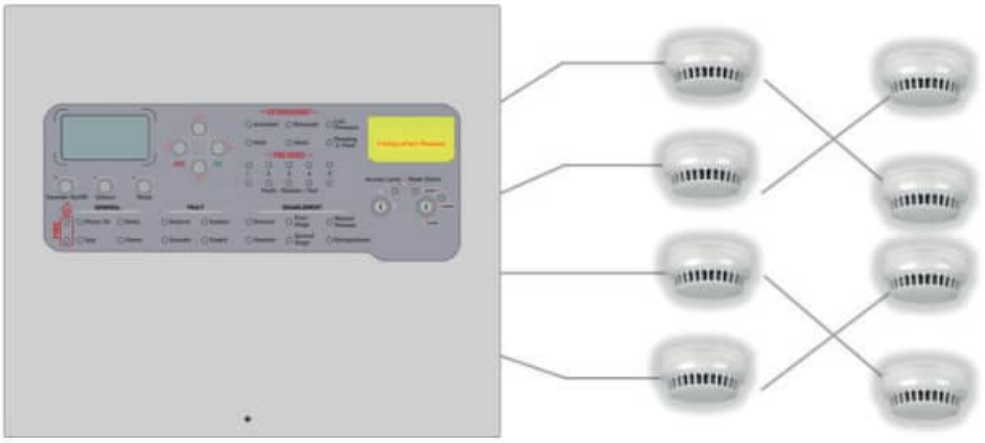
5.5. Çapraz Zonlamanın Önemi, Avantajları ve Sınırlılıkları

Çapraz zonlama, söndürme kararının tek bir alarm sinyaline dayandırılmasını önleyerek yanlış veya istenmeyen söndürme boşaltmalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle söndürücü maddenin boşaltılmasının personel, ekipman ve işletme sürekliliği açısından önemli riskler oluşturduğu uygulamalarda ek bir alarm doğrulama katmanı meydana getirmektedir.

Bu yöntem, tek bir dedektörün arızalanması veya çevresel etkiler nedeniyle yanlış alarm vermesi sonucunda söndürme sisteminin gereksiz şekilde devreye girmesini önleyebilir. Böylece söndürücü madde kaybı, ekipman hasarı, sistemin kullanım dışı kalması ve işletme faaliyetlerinin kesintiye uğraması gibi sonuçların oluşma ihtimali azaltılabilir.

Bununla birlikte, çapraz zonlama ikinci bir alarm bilgisinin oluşmasını gerektirdiğinden, uygun olmayan algılama tasarımlarında söndürme aktivasyonunun gecikmesine neden olabilir. Bu nedenle dedektör tipi, yerleşimi ve doğrulama senaryosu korunan alanın yangın karakteristiğine göre belirlenmelidir.

EN 12094-1 standardında zorunlu bir yöntem olarak tanımlanmamakla birlikte, söndürme işleminin yüksek risk taşıdığı uygulamalarda boşaltma sürecinin üç veya daha fazla bağımsız alarm bilgisinin doğrulanmasına dayalı ilave doğrulama senaryoları da değerlendirilebilir. Bu tür yaklaşımlar, yanlış alarm kaynaklı boşaltma riskinin azaltılması amacıyla ek bir doğrulama katmanı sağlayabilir.



Şekil 2. Çapraz zonlama uygulama şeması

6. SONUÇ

Gazlı söndürme sistemlerinde güvenilirlik, yalnızca yangın meydana geldiğinde söndürücü maddenin boşaltılmasıyla sınırlı değildir. Söndürme kararının doğru alarm bilgilerine dayandırılması, personelin boşaltma öncesinde güvenli şekilde uyarılması, sistem bileşenlerinin izlenmesi ve tehlikeli durumlarda söndürme sürecine müdahale edilebilmesi de sistem güvenliğinin temel unsurlarını oluşturmaktadır.

EN 12094-1 standardında tanımlanan opsiyonel fonksiyonlar, farklı söndürme uygulamalarının güvenlik ve kontrol ihtiyaçlarına cevap verebilecek teknik imkânlar sunmaktadır. Çapraz zonlama yöntemleri ise söndürme kararına ek bir alarm doğrulama aşaması ekleyerek tekil alarm hatalarından kaynaklanabilecek istenmeyen boşaltmaların azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte çapraz zonlama, gecikme, acil bekletme, acil iptal ve yalnızca manuel çalışma gibi fonksiyonların uygun olmayan şekilde yapılandırılması gerçek bir yangına müdahaleyi geciktirebilir veya söndürme işlemini engelleyebilir. Bu nedenle söz konusu fonksiyonların seçimi yalnızca panelin teknik kabiliyetlerine göre değil, korunan alan için gerçekleştirilen risk değerlendirmesine göre yapılmalıdır.

Bu nedenle gazlı söndürme sistemlerinde güvenilirliğin artırılması, daha fazla güvenlik fonksiyonu kullanılmasından çok, gerekli fonksiyonların doğru risk değerlendirmesi sonucunda seçilmesine ve uygun şekilde yapılandırılmasına bağlıdır. EN 12094-1'de tanımlanan opsiyonel fonksiyonlar ile çapraz zonlama yöntemlerinin doğru projelendirme, düzenli bakım ve eğitimli personelle birlikte uygulanması; yanlış boşaltmaların azaltılması, tahliye güvenliğinin geliştirilmesi ve sistemin operasyonel güvenilirliğinin artırılması açısından önemli katkı sağlayabilir.

7. KAYNAKLAR

[1] CEN, EN 12094-1:2003, Fixed firefighting systems – Components for gas extinguishing systems – Part 1: Requirements and test methods for electrical automatic control and delay devices, European Committee for Standardization, 2003.

[2] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Carbon Dioxide as a Fire Suppressant: Examining the Risks, EPA430-R-00-002, Office of Air and Radiation, Stratospheric Protection Division, February 2000.

[3] National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 12: Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, 2025 Edition, NFPA, Quincy, MA, 2025.

8. KISA ÖZGEÇMİŞ

Vatan ŞENOL

Vatan ŞENOL, 2011 yılında Dumlupınar Üniversitesi Kütahya Meslek Yüksekokulu Elektronik Teknolojisi Programı'ndan, 2021 yılında ise Gebze Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yangın algılama sistemleri alanında 2011 yılında başlayan çalışma hayatına mühendislik eğitiminin ardından da devam etmiştir. Arte Teknoloji ve Honeywell Bina Teknolojileri bünyesinde yangın algılama sistemleri projelerinde görev almış; yurt içinde ve yurt dışında çeşitli büyük ölçekli projelerde çalışmıştır. 2025 yılından itibaren Teknim Elektronik'te yangın algılama ve söndürme sistemleri alanında Uluslararası Teknik Destek Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE EKİPMAN YANGIN KORUMASI: NFPA 15 VE API RP 2030 STANDARTLARININ TASARIM YAKLAŞIMINA ETKİLERİ

Muhammed Bilgehan Şahin

ÖZET

Petrol, doğal gaz ve petrokimya tesislerinde meydana gelen yangınlar proses güvenliği açısından en kritik risklerden biridir. Bu çalışmada NFPA 15 ve API RP 2030 standartlarının ekipman yangın koruma sistemlerinin tasarımına etkileri incelenmektedir. Water spray ve deluge sistemlerinin tasarım felsefesi, risk bazlı mühendislik yaklaşımı ve hidrolik tasarım esasları değerlendirilmiştir. Çalışma, aktif yangın koruma sistemlerinin yalnızca hidrolik açıdan değil, proses riskleriyle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır

Anahtar sözcükler: Yangın Tesisatı,NFPA 15,API 2030

EQUIPMENT FIRE PROTECTION IN INDUSTRIAL FACILITIES: IMPACT OF NFPA 15 AND API RP 2030 ON DESIGN APPROACHES

ABSTRACT

This paper investigates the impact of NFPA 15 and API RP 2030 on industrial equipment fire protection design. Water spray systems, deluge systems, risk-based engineering principles and hydraulic design considerations are discussed to establish an integrated engineering approach.

Key words: Firefighting ,NFPA 15,API 2030

1. GİRİŞ

Petrol ve doğal gaz tesisleri yüksek miktarda yanıcı hidrokarbon içermeleri nedeniyle ciddi yangın ve patlama riskleri taşımaktadır. Modern mühendislik yaklaşımı yalnızca yangının söndürülmesini değil, ekipman bütünlüğünün korunmasını, domino etkisinin önlenmesini ve proses sürekliliğinin sağlanmasını hedeflemektedir.

NFPA 15 sabit su püskürtme sistemlerinin hidrolik tasarım kriterlerini tanımlarken, API RP 2030 hangi ekipmanların korunması gerektiğine yönelik risk temelli bir yaklaşım sunmaktadır. Bu iki standardın birlikte uygulanması, EPC projelerinde daha güvenilir ve optimize edilmiş yangın koruma sistemlerinin tasarlanmasını sağlamaktadır.

Bu bildirinin devamında endüstriyel yangın karakteristikleri, water spray ve deluge sistemleri, hidrolik hesap yöntemleri ve gerçek uygulama örnekleri ayrıntılı olarak incelenecektir.
Petrol rafinerileri, petrokimya tesisleri, LNG terminalleri, doğal gaz işleme tesisleri ve enerji üretim santralleri; yüksek miktarda yanıcı ve parlayıcı akışkan içermeleri nedeniyle en yüksek yangın riskine sahip endüstriyel tesisler arasında yer almaktadır. Bu tesislerde meydana gelen yangınlar yalnızca ekipman hasarıyla sınırlı kalmayıp can kaybı, çevresel kirlilik, uzun süreli üretim kayıpları ve yüksek ekonomik zararlara neden olabilmektedir. Bu nedenle yangın koruma sistemlerinin tasarımı, proses tasarımının ayrılmaz bir parçasıdır.
Bu bölüm ilerleyen kısımlarda ayrıntılı vaka analizleri, standart maddelerinin mühendislik yorumları ve örnek tasarımlarla desteklenecektir.
Endüstriyel tesislerde görülen yangınlar; havuz yangını (Pool Fire), jet yangını (Jet Fire), flaş yangını (Flash Fire), BLEVE ve buhar bulutu patlaması (VCE) gibi farklı senaryolarda gelişebilir. Her senaryo farklı ısı yayılımı, radyasyon seviyesi ve ekipman üzerindeki etkilere sahiptir. Bu nedenle yangın koruma tasarımı senaryo bazlı yapılmalıdır.
Bu bölüm ilerleyen kısımlarda ayrıntılı vaka analizleri, standart maddelerinin mühendislik yorumları ve örnek tasarımlarla desteklenecektir.

Tablo 2.1 – Başlıca Endüstriyel Yangın Türleri

Yangın Türü	Yakıt	Başlıca Risk	Koruma Yaklaşımı
Pool Fire	Sıvı hidrokarbon	Yüksek radyasyon	Foam + Water Spray
Jet Fire	Basınçlı gaz	Lokal yüksek sıcaklık	İzolasyon + Deluge
BLEVE	LPG/LNG vb.	Patlama ve fireball	Kap soğutma
Flash Fire	Yanıcı buhar	Ani alev yayılımı	Gaz algılama
VCE	Buhar bulutu	Basınç dalgası	Sızıntı kontrolü

NFPA 15 sabit water spray sistemlerinin mühendislik esaslarını tanımlarken, API RP 2030 petrol ve petrokimya tesislerinde risk bazlı yangın koruma yaklaşımını ortaya koymaktadır. Günümüzde birçok uluslararası EPC projesinde bu iki doküman birlikte kullanılmaktadır.
Bu bölüm ilerleyen kısımlarda ayrıntılı vaka analizleri, standart maddelerinin mühendislik yorumları ve örnek tasarımlarla desteklenecektir.

2. ENDÜSTRİYEL YANGIN KARAKTERİSTİKLERİ VE EKİPMAN BAZLI YANGIN SENARYOLARI

2.1 Endüstriyel Yangınların Özellikleri

Endüstriyel tesislerde meydana gelen yangınlar, bina yangınlarından farklı olarak yüksek enerji yoğunluğu, sürekli yakıt beslenmesi ve proses ekipmanlarının yakın yerleşimi nedeniyle hızla büyüyebilir. Rafineri ve petrokimya tesislerinde hidrokarbonların fiziksel özellikleri, yangının gelişimini ve söndürme stratejilerini doğrudan etkiler. Tasarımcılar yalnızca yangını söndürmeyi değil, ekipman bütünlüğünü korumayı ve domino etkisini önlemeyi hedeflemelidir.

2.2 Pool Fire

Pool fire, yanıcı sıvının zeminde veya sekonder kontenman içerisinde birikmesi sonucu oluşan yüzey yangınıdır. Isıl radyasyon seviyesi yüksektir ve çevredeki tanklar, pompalar ve çelik konstrüksiyonlar üzerinde önemli termal yük oluşturur. NFPA 15 bu tür ekipmanların soğutulması amacıyla su püskürtme sistemlerinin kullanılmasını önermektedir.

2.3 Jet Fire

Basınçlı hidrokarbon kaçaklarının tutuşması sonucu oluşan jet fire, yüksek sıcaklık ve yüksek ısı akısı nedeniyle özellikle borulama, flanşlar, vanalar ve proses ekipmanları üzerinde ciddi hasar oluşturur. API RP 2030 bu senaryolarda ekipman kritikliğinin değerlendirilmesini ve koruma önceliğinin proses güvenliği analizleriyle belirlenmesini tavsiye eder.

2.4 Flash Fire ve BLEVE

Flash fire kısa süreli ancak geniş alanı etkileyebilen alev yayılımı oluştururken, BLEVE olaylarında basınçlı kapların ani parçalanması ile yangın ve patlama birlikte meydana gelir. Bu nedenle yalnızca aktif söndürme değil, pasif yangın koruma ve güvenli ekipman yerleşimi de kritik öneme sahiptir.

2.5 Domino Etkisi

Bir ekipmanda başlayan yangının komşu ekipmanlara radyasyon yoluyla yayılması domino etkisi olarak tanımlanır. Modern EPC projelerinde Fire Hazard Analysis ve Quantitative Risk Assessment çalışmaları kullanılarak hangi ekipmanların water spray veya deluge sistemiyle korunacağı belirlenmektedir.

3. NFPA 15: WATER SPRAY SİSTEMLERİ VE TASARIM YAKLAŞIMI

NFPA 15, sabit water spray sistemlerinin tasarım, kurulum, test ve bakım esaslarını tanımlayan temel standarttır. Standart özellikle petrol, petrokimya, LNG ve enerji tesislerinde ekipmanların yangına maruziyetini azaltmak, yüzey soğutması sağlamak ve yangının yayılmasını sınırlandırmak amacıyla uygulanır.
NFPA 15'in temel amacı, suyun damlacık formunda kontrollü şekilde uygulanmasıyla ekipman yüzeylerinin soğutulmasını sağlamaktır. Water spray sistemleri çoğu durumda yangını tamamen söndürmekten ziyade maruziyet koruması (exposure protection), sıcaklık kontrolü ve ekipman bütünlüğünün korunması için tasarlanır.

Deluge sistemlerinde tüm nozullar açıktır ve deluge vanasının açılmasıyla aynı anda su boşaltılır. Sistem genellikle alev veya gaz algılama sistemiyle otomatik aktive edilir. Water spray sistemleri; tanklar, basınçlı kaplar, kompresör enclosure'ları ve pipe rack gibi ekipmanlarda yaygın olarak uygulanır.Nozul tipi; ekipmanın geometrisine, korunacak yüzey alanına ve hedeflenen damlacık karakteristiğine göre belirlenir. Full cone, medium velocity ve high velocity nozul tipleri farklı uygulamalarda tercih edilir. Seçimde K faktörü, püskürtme açısı, kapsama alanı ve minimum çalışma basıncı dikkate alınır.

Sistem debisi, en olumsuz hidrolik koşullara göre belirlenir. Boru çapları, basınç kayıpları, eş zamanlı çalışan nozullar ve yangın pompası kapasitesi birlikte değerlendirilir. Nozul debisi genel olarak Q = KVP bağıntısı ile hesaplanır.

Basınçlı kaplarda tüm kritik yüzeylerin su filmi ile kaplanması hedeflenir. Pompa ve kompresörlerde sızıntı ihtimali yüksek bölgeler önceliklendirilir. Tanklarda shell cooling uygulaması radyasyon etkisini azaltır.

Nozulların önünde engel bulunmaması, borularda korozyon kontrolü, filtre kullanımı, test bağlantıları, drenaj ve bakım erişimi güvenilir bir sistem için önemlidir. Ayrıca proses ekipmanlarında bakım sırasında yanlış aktivasyonu önleyecek prosedürler oluşturulmalıdır.

Tablo – Water Spray Tasarımında Değerlendirilen Temel Parametreler

Parametre	Mühendislik Açısından Önemi	Tasarıma Etkisi
Nozul K Faktörü	Debiyi belirler	Pompa kapasitesi
Çalışma Basıncı	Sprey kalitesi	Kapsama alanı
Sprey Açısı	Yüzey kaplama	Nozul yerleşimi
Ekipman Geometrisi	Kör noktalar	Nozul sayısı
Su Kaynağı	Süreklilik	Tank hacmi ve pompa
Algılama Sistemi	Aktivasyon	Deluge vana kontrolü

.Water spray sistemlerinde su, açık tip nozullar aracılığıyla belirli bir debi ve damlacık dağılımıyla korunacak yüzeye uygulanır. Sistem manuel veya otomatik çalışan deluge vanaları ile devreye alınır. Nozul seçimi; damlacık boyutu, püskürtme açısı, koruma mesafesi ve ekipman geometrisine göre yapılmalıdır.
Deluge sistemlerinde tüm nozullar açık tiptir ve deluge vanasının açılmasıyla tüm sistem aynı anda su boşaltır. Bu sistemler özellikle kompresörler, transformatörler, LPG/LNG ekipmanları, proses pompaları ve kritik borulama koridorlarında tercih edilir.
NFPA 15 farklı ekipman tipleri için minimum su uygulama yoğunlukları tanımlar. Tasarımcı yalnızca minimum yoğunluğu sağlamakla kalmamalı, rüzgar etkisi, ekipman gölgelenmesi, nozul çakışmaları ve erişilemeyen yüzeyleri de değerlendirmelidir.

4. API RP 2030: RİSK BAZLI YANGIN KORUMA TASARIM YAKLAŞIMI

API RP 2030, petrol rafinerileri ve petrokimya tesislerinde sabit yangın koruma sistemlerinin seçimi ve uygulanmasına yönelik öneriler sunan risk temelli bir rehberdir. Doküman, belirli ekipmanlar için tek tip çözüm önermek yerine proses tehlikelerini, ekipmanın kritikliğini ve olası yangın senaryolarını birlikte değerlendirir.
Koruma sistemi seçiminde proses akışkanı, envanter miktarı, işletme basıncı, kaçak olasılığı, maruziyet (exposure), domino etkisi ve işletmenin sürekliliği dikkate alınır. Böylece yalnızca standartlara uyum değil, kabul edilebilir risk seviyesine ulaşılması hedeflenir.
Depolama tankları, LPG/LNG basınçlı kapları, hidrokarbon pompaları, gaz kompresörleri, pipe rack, yükleme alanları ve proses manifoldları öncelikli ekipmanlardır. Bu ekipmanların kritikliği, içerdiği akışkanın fiziksel özellikleri ve proses koşullarına göre belirlenir.
API RP 2030, aktif koruma (water spray, deluge, foam, hydrant, monitor) ile pasif koruma (fireproofing, yangın duvarları ve izolasyon) sistemlerinin birlikte değerlendirilmesini önerir. Tasarımın amacı, acil durum ekiplerinin güvenli müdahalesi için yeterli zamanı sağlamaktır.

API RP 2030 hangi ekipmanın neden korunması gerektiğini açıklarken, NFPA 15 bu korumanın mühendislik tasarımının nasıl yapılacağını tanımlar. Uygulamada iki doküman birbirini tamamlayan referanslar olarak kullanılır.

Modern EPC projelerinde API RP 2030; HAZID, HAZOP, LOPA, QRA ve Fire Hazard Analysis çalışmalarıyla birlikte değerlendirilir. Böylece yangın koruma sistemi proses güvenliği yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline gelir.

Tablo API RP 2030'a Göre Ekipman Önceliklendirme Yaklaşımı

Ekipman	Başlıca Risk	Önerilen Koruma	Öncelik
LPG Basınçlı Kap	BLEVE	Water Spray + PFP	Çok Yüksek
Ham Petrol Tankı	Pool Fire	Foam + Shell Cooling	Yüksek
Gaz Kompresörü	Jet Fire	Deluge + ESD	Yüksek
Pompa	Seal Leak	Water Spray	Orta
Pipe Rack	Domino Etkisi	Exposure Cooling	Orta

Her ekipmanın aktif yangın korumasına ihtiyacı bulunmamaktadır. Basınçlı kaplar, hidrokarbon pompaları, kompresörler, depolama tankları, proses kolonları ve kritik borulama sistemleri; içerdiği envanter, çalışma basıncı, proses sürekliliği ve domino etkisi potansiyeline göre değerlendirilmelidir.
FHA çalışmaları olası yangın senaryolarını, termal radyasyon seviyelerini, müdahale sürelerini ve ekipman maruziyetini değerlendirir. Bu analizler sonucunda water spray, deluge, foam veya pasif yangın koruma çözümlerinin hangisinin uygun olduğuna karar verilir.
API RP 2030, yalnızca aktif sistemlere güvenilmesini önermez. Fireproofing kaplamaları, yangın duvarları, ekipman yerleşimi ve acil durdurma sistemleri aktif su sistemlerini tamamlayan koruma katmanlarıdır. Bu yaklaşım proses güvenliğinin temel prensiplerinden biri olan çok katmanlı korumayı destekler.
NFPA 15 hidrolik tasarım, nozul seçimi ve su uygulama yoğunluklarını tanımlarken API RP 2030, bu sistemlerin gerçekten gerekli olup olmadığını ve hangi ekipmanların öncelikli olarak korunacağını açıklar. Bir EPC projesinde her iki standardın birlikte kullanılması daha ekonomik ve güvenilir tasarımlar elde edilmesini sağlar.
Güncel LNG, rafineri ve petrokimya projelerinde QRA, HAZOP, LOPA ve FHA çıktıları yangın koruma tasarımına entegre edilmektedir. Böylece gereksiz su tüketimi azaltılırken kritik ekipmanların korunma seviyesi artırılmakta, yangın suyu pompası kapasitesi ve borulama maliyetleri optimize edilmektedir.

5. NFPA 15 VE API RP 2030 KARŞILAŞTIRMASI

NFPA 15 ve API RP 2030, petrol, doğal gaz ve petrokimya tesislerinde yangın koruma sistemlerinin tasarımında en sık birlikte kullanılan iki temel referans dokümandır. Ancak bu dokümanların amaçları farklıdır. NFPA 15 teknik tasarım kriterlerini tanımlarken, API RP 2030 risk bazlı koruma stratejisinin oluşturulmasına rehberlik eder.

NFPA 15 hidrolik tasarım, nozul seçimi, su yoğunluğu ve sistem performansına odaklanır. API RP 2030 ise hangi ekipmanın neden korunması gerektiğini, korumanın gerekli olup olmadığını ve önceliklendirme esaslarını açıklar.
Gerçek EPC projelerinde süreç çoğunlukla API RP 2030 ile başlar. Fire Hazard Analysis, HAZOP ve QRA çalışmaları sonucunda korunması gereken ekipmanlar belirlenir. Daha sonra NFPA 15 kullanılarak water spray veya deluge sistemi mühendislik tasarımı gerçekleştirilir.
NFPA 15 ayrıntılı mühendislik kuralları sunmasına rağmen hangi ekipmanların korunacağı konusunda karar vermez. API RP 2030 ise stratejik yaklaşımı tanımlar ancak hidrolik tasarım yöntemlerini ayrıntılı olarak açıklamaz. Bu nedenle iki doküman birbirini tamamlar.
Basınçlı LPG tanklarında API RP 2030 maruziyet riskini değerlendirerek water spray sistemini önerirken, NFPA 15 nozul yerleşimi, debi, basınç ve kapsama kriterlerini belirler. Kompresör enclosure uygulamalarında da benzer şekilde iki standart birlikte kullanılır.

Tablo NFPA 15 ve API RP 2030 Karşılaştırması

Karşılaştırma Kriteri	NFPA 15	API RP 2030
Doküman Tipi	Tasarım Standardı	Recommended Practice
Temel Amaç	Water spray tasarımı	Risk bazlı koruma
Odak Noktası	Hidrolik hesaplar	Risk değerlendirmesi
Nozul Yerleşimi	Detaylı	Yer almaz
Korunacak Ekipman Seçimi	Sınırlı	Detaylı
Fire Hazard Analysis	Dolaylı	Temel girdi
QRA/HAZOP İlişkisi	Destekleyici	Doğrudan ilişkili
Birlikte Kullanım	Teknik tasarım	Koruma stratejisi

Uluslararası petrol ve gaz projelerinde yalnızca NFPA 15 veya yalnızca API RP 2030 kullanılması yeterli değildir. Risk değerlendirmesi ile başlayan süreç, hidrolik tasarım, sistem doğrulaması, kabul testleri ve işletme prosedürleri ile tamamlanmalıdır. Böylece hem güvenlik hem de yatırım maliyeti açısından optimum çözüm elde edilir.

• **API RP 2030:** Risk değerlendirmesi, ekipman önceliklendirmesi ve yangın koruma stratejisine odaklanır.
• **NFPA 15:** Water spray sistemlerinin hidrolik tasarımı, nozul yerleşimi ve performans kriterlerini tanımlar.
Birlikte kullanıldıklarında, hem doğru ekipman seçimi hem de doğru mühendislik tasarımı sağlanır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada NFPA 15 ve API RP 2030 standartları çerçevesinde endüstriyel tesislerde kullanılan water spray ve deluge sistemlerinin tasarım yaklaşımı incelenmiştir. Yangın dinamiği, ekipman bazlı riskler, hidrolik tasarım esasları ve gerçek endüstriyel olaylardan elde edilen mühendislik dersleri birlikte değerlendirilmiştir.
Yangın koruma sistemlerinin başarısı yalnızca doğru hidrolik tasarıma değil; uygun risk analizi, ekipman önceliklendirmesi, güvenilir algılama sistemleri, aktif ve pasif yangın koruma yöntemlerinin bütünleşik şekilde uygulanmasına bağlıdır. API RP 2030 koruma stratejisinin oluşturulmasında, NFPA 15 ise sistemin mühendislik tasarımında tamamlayıcı rol üstlenmektedir.

Mühendislik Önerileri

• Yangın koruma tasarımı proje başlangıcında proses güvenliği çalışmalarıyla birlikte ele alınmalıdır.
• HAZOP, LOPA, QRA ve Fire Hazard Analysis sonuçları yangın sistemi tasarımına doğrudan aktarılmalıdır.
• Water spray sistemleri için nozul yerleşimi üç boyutlu model üzerinde doğrulanmalıdır.
• Yangın pompaları, su depoları ve dağıtım şebekesi eş zamanlı senaryolar dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır.
• Sistemler periyodik olarak test edilmeli ve bakım kayıtları izlenmelidir.

6. KAYNAKLAR

[1] SFPE, “Handbook of Fire Protection Engineering”, Society of Fire Protection Engineers

[2] NFPA 15: *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*. National Fire Protection Association.

[3] API Recommended Practice 2030: *Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in Petroleum, Petrochemical and LNG Facilities*. American Petroleum Institute.

[4] API Recommended Practice 2001: *Fire Protection in Refineries*

[5] NFPA 30 :Flammable and Combustible Liquids Code

[6] IP-19: Institute of Petroleum Fire precautions at petroleum refineries and bulk storage installations

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Bilgehan Şahin

1987'de Sakaryada doğdu. 2012 yılında Yıldız teknik üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu . 2016 Yılında işletme yönetimi yüksek lisansını tamamladı.14 senedir Proje ve Taahhüt firmalarında Yangın tesisatı üzerine çalışmaktadır.

KAPALI OTOPARKLARDA ELEKTRİKLİ TAŞITLAR İÇİN YANGINDAN KORUNMA ÖNLEMLERİ

Esat ERSOY
Yangından Korunma Mühendisliği Danışmanlık Ltd. Şti.

ÖZET

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ile ilgili olarak son birkaç yıldır Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mesleki Hizmetler Daire Başkanlığı tarafından yürütülen yönetmelik değişikliği çalışmaları kapsamında, 11.07.2025 tarihinde Bina Yangın Yönetmeliği adında bir taslak yönetmelik yayınlanmış ve Bakanlıklar, Kamu Kuruluşları, Belediyeler, Meslek Odaları ve ilgili Sivil Toplum Kuruluşlarından taslak yönetmelik hakkındaki görüş ve önerilerini Bakanlık'a (ÇŞİDB) iletmeleri istenmiştir. Mevcut yönetmeliğin altlık olarak kullanılıp yapılması planlanan değişiklikler fark edilecek bir formatta hazırlanan taslak yönetmelikte; Kapalı Otoparklarda Elektrikli Taşıtlar için Yangından Korunma Önlemleri'nin ilave edildiği ve mimari, elektrik, mekanik önlemler hakkındaki mevcut yönetmelik hükümlerinin birçoğunda değişiklikler yapıldığı gözlenmiştir. Bu çalışma, kapalı otoparklardaki elektrikli taşıt yangını riski ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkili olan taslak yönetmelik hükümlerinin değerlendirilmesini konu almaktadır.

Anahtar sözcükler: Bina Yangın Yönetmeliği, Elektrikli taşıt

FIRE PROTECTION MEASURES FOR ELECTRIC VEHICLES IN ENCLOSED PARKING GARAGES

ABSTRACT

Within the scope of the regulation amendment studies carried out for the past few years by the Department of Professional Services of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change regarding the Regulation on Fire Protection of Buildings, a draft regulation under the title of Building Fire Protection Regulation was published on July 11, 2025. Ministries, public institutions, municipalities, professional chambers, and relevant non-governmental organizations were requested to submit their opinions and suggestions regarding this draft to the Ministry (DoPS). In the draft regulation, which was prepared in a track-changes format utilizing the current regulation as a baseline, it has been observed that "Fire Protection Measures for Electric Vehicles in Enclosed Parking Garages" have been introduced, and many of the existing regulatory provisions regarding architectural, electrical, and mechanical measures have been amended. This study focuses on the evaluation of the draft regulation provisions that are directly and indirectly associated with the risk of electric vehicle fires in enclosed parking garages.

Key words: Building Fire Protection Regulation, Electric vehicle

1. GİRİŞ

1.1. Yangın Sayısı

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Ulaşım Güvenliği Kurulu (NTSB) ve Bureau of Transportation Statistics (BTS) verilerine göre; elektrikli taşıtlarda yangın ihtimali daha azdır.

Motor / Tahrik Tipi	100.000 taşıt başına yıllık yangın sayısı	Sıklık Oranı
Hibrit	3.475	% 3,47
Benzinli ve Dizel	1.530	% 1,53
Elektrikli	**25**	% 0,025

1.2. Ölü Sayısı

Benzinli ve Dizel Taşıt Yangınları: Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) her yıl ortalama 200.000'den fazla otoyol taşıt yangını meydana gelmekte ve bu yangınlar yılda ortalama **300** ila 500 arasında ölüme yol açmaktadır. İçten yanmalı motorlu taşıtlardaki ölümlerin büyük bir kısmı; kaza anında yakıt deposunun delinmesi sonucu; yakıtın hızla çevreye yayılması ve kabini saniyeler içinde alevlerin sarmasından kaynaklanır.

Elektrikli Taşıt Yangınları: Dünyada toplam 85 milyon adet elektrikli taşıt var. Küresel bazda tüm elektrikli araç batarya yangınlarını izleyen EV FireSafe verilerine göre; 2010 yılından günümüze kadar dünya genelinde doğrulanmış batarya yangını vakası; 511 adettir. Bu 511 yangın genelinde doğrudan yangın dumanı veya alev nedeniyle hayatını kaybeden kişilerin sayısı **on** kişiden azdır.

1.3. Ölü Sayısı Neden Az?

Batarya hasar gördüğünde; önce gaz salınımı (off-gassing) ve duman başlar; ardından alevlenme gerçekleşir. Bu süreç; yolculara araçtan güvenle çıkmaları için **birkaç dakikalık hayati bir tahliye süresi** tanır. Bu nedenle elektrikli taşıt yangınlarında, yolcular kaza darbesiyle içeride sıkışıp kalmadığı sürece; yangından kaçabilmektedir.

1.4. Zorluklar

Ancak ısıl sürüklenme (thermal runaway) başlamış elektrikli taşıttaki yangını söndürmek zordur. Aşağıdaki zorluklar var.

- Daha yüksek hacimde su gereklidir.
- Söndükten birkaç saat sonra yeniden alevlenme riski var.
- Hidrojen Florür (HF) gibi korozif ve zehirli gazlar açığa çıkar.
- Kapalı otoparkın betonarme ve çelik taşıyıcıları 1000 °C sıcaklığa ulaşabilir.

2. YANGIN SÖNDÜRME TESİSATI

	Elektrikli taşıt şarj cihazı bulunan kapalı otoparklara; Yangın Yağmurlama (Fire Sprinkler) tesisatı ve itfaiye su alma ağzı (İSAA) tesisatı yapılmalıdır.

2.1. Tehlike Sınıfı ve Debi

NFPA 13 standardına göre; kapalı otoparklar; eskiden Ordinary Hazard Group 1 kullanım tehlike sınıfıydı. 2025 Edition incelendiğinde; Ordinary Hazard Group 2'ye yükseltildiğini görüyoruz. Bunun nedeni; elektrikli taşıtlar.

Birkaç ay sonra "Bina Yangın Yönetmeliği" adında yeni bir yönetmeliğin yayımlanması bekleniyor. "Taslağı" incelediğimizde; otoparklar Orta Tehlike-2 sınıfındadır. TS EN 12845 incelendiğinde; yine Orta Tehlike-2 sınıfındadır. Ancak; yangın danışmanı olduğum projelerde; kapalı otoparkların Orta Tehlike-**3** sınıfında tasarlanmasını talep ediyorum.

Elektrikli taşıt yangınlarına müdahale etmek için daha yüksek debi ve daha büyük yangın su deposu hacmi gereklidir. Yeni Yönetmelikte; kapalı otoparkların; tehlike sınıfı yükseltilmelidir.

2.2. Yangın Yağmurlama Tesisatının Faydaları

Elektrikli taşıtın bataryası; su geçirmez bir muhafaza içindedir. Püsküren su muhafazanın içindeki bataryaya ulaşmıyor. Su püskürtmek; ısıl sürüklenmeyi bitirmiyor. Ancak yangın yağmurlama (fire sprinkler) tesisatı ve itfaiye su alma ağzı (İSAA) gereklidir.

Bu tesisatların faydaları:

- Yanan taşıta komşu taşıtların yanmasını engelliyor
- Koltuk, bagaj vb. yerdeki yangının bataryaya yayılmasını engelliyor. Batarya yangınını engelliyor.
- Açığa çıkan zehirli gaz ve duman debisini azaltıyor
- Betonarme ve çelik taşıyıcıların sıcaklığının 540 oC'ye ulaşmasını engelliyor veya geciktiriyor
- İtfaiyecilerin taşıta yaklaşabilmesini sağlıyor

2.3. Bina Yangın Yönetmeliği Taslağındaki Maddeler

Taslaktaki maddeler aşağıdadır. Yürürlükteki bir yönetmelik değildir. Bilgi içindir.

İtfaiye su alma ağızlarının aşağıdaki yerlerde zorunlu tutulacağı beklenmektedir.

(4) Alanı 300 m²'yi geçen kapalı veya katlı açık otoparklar ile elektrikli araç şarj sistemi olan kapalı veya katlı açık otoparklarda yangın dolap sistemi ve itfaiye su alma ağızları tesis edilir.

Bu taslağa göre; elektrikli taşıt şarj cihazı bulunuyorsa; alanın kaç metrekare olduğuna bakılmayacak; itfaiye su alma ağızları ve yangın dolapları konacak.

Diğer bir konu ise; İSAA debisi ve basıncı konusunda sayısal değerler; yönetmeliğe konacak.

İtfaiye su alma ağzı bağlantı noktasında tasarım debisi 400 litre/dak ve tasarım basıncının en az 400 kPa (4 bar) olması gerekir.

Yangın Yağmurlama tesisatıyla ilgili taslak madde

2) Aşağıda belirtilen yerlerde otomatik yağmurlama sistemi kurulur:
c) Alanlarının toplamı 300 m²'den büyük olan kapalı ve katlı açık otoparklarda,

Bu madde ile kapalı ve katlı açık otoparkların çoğuna yangın yağmurlama tesisatı yapılacaktır. Elektrikli taşıt yangınlarıyla mücadelede ve yangının yayılmasını önlemede önemli bir adım atılmış olacaktır.

Otoparklar maddesinde aşağıdaki bend var:

d) Şarj sistemlerinin bulunduğu bölümdeki araç park alanına hizmet verecek şekilde uygun tipte yağmurlama başlığının yerleştirilmesi,

Otopark alanına bakılmaksızın; şarj bölgesine yangın yağmurlama tesisatı yapılacağı yazmaktadır.

3. DUMAN TAHLİYE TESİSATI

Taslaktaki maddeler aşağıdadır. Yürürlükteki bir yönetmelik değildir. Bilgi içindir.

(10) Toplam alanı 2000 m²'yi aşan kapalı otoparklar için mekanik duman tahliye sistemi yapılır. Duman tahliye sisteminin binanın diğer bölümlerine hizmet veren sistemlerden bağımsız olması ve taban alanının her m²'si için 300 L/dak debi sağlaması gerekir. Kapalı otoparkların elektrikli araç şarj sistemleri bulunan bölümlerinde diğer bölümlerden ayrı olarak bu değer 500 L/dak olarak alınır.

Elektrikli taşıt şarj alanlarında; daha yüksek bir debi talep etmektedir. Açığa çıkan zehirli gaz ve dumanın tahliye edilmesi sayesinde; kişilerin tahliye güvenliği sağlanacaktır. Yangın yağmurlama tesisatı; açığa çıkan zehirli gazı ve dumanı azaltırken; duman tahliye tesisatı ikinci bir önlem olacaktır.

Taslağın "Otoparklar" bölümünde; kapalı otoparka elektrikli şarj sistemi kurulabilmesi için birçok şart bulunmaktadır. Bu şartlarda; otopark alanı için metrekare büyüklük sınırı belirtilmemiştir. Şarj cihazı konacaksa; mutlaka yapılacağı yazılıdır.

ç) Şarj sistemlerinin bulunduğu bölümde uygun tipte yangın algılama ve erken uyarı sistemlerinin kurulması,
d) Şarj sistemlerinin bulunduğu bölümdeki araç park alanına hizmet verecek şekilde uygun tipte yağmurlama başlığının yerleştirilmesi,
e) Duman tahliye sisteminin kurulması,
şartlarının tamamının sağlanması halinde tesis edilebilir.

4. GAZ ve YANGIN ALGILAMA

4.1 Bina Yangın Yönetmeliği Taslağındaki Maddeler

Taslak yönetmeliğe göre:

ç) Şarj sistemlerinin bulunduğu **bölümde** uygun tipte yangın algılama ve **erken** uyarı sistemlerinin kurulması

Otoparkın geneli için

	Yapı Yüksekliği (m)	Yapı inşaat alanı (m^2)
8. Depolar	> 6,50	> 2000

(1) Kriterlerden herhangi birinin sağlanması halinde uygulanır.

Yukarıdaki iki madde sayesinde; yeni binalarda; elektrik taşıt ve hibrit/benzinli/dizel taşıt yangınları algılanacak ve kişilerin tahliyesi başlayacak.

4.2 Gaz Algılama

Lityum-iyon bataryalarda; ısıl sürüklenme öncesinde; "off-gassing" adı verilen bir gaz salınımı olur. Geleneksel noktasal duman dedektörleri bu evreyi algılayamaz.

Erken uyarı sistemlerinin ne olduğuna dair araştırma yapıldığında; karbonmonoksit (CO) dedektörleri ve Hidrojen Florür (HF) dedektörleri karşımıza çıkıyor. Bu dedektörler gaz algıladığında; şarj cihazlarının tümünün enerjisi otomatik kesilirse; ısıl sürüklenme (thermal runaway) önlenir.

Diğer bir önlem ise; ısıl kamera kullanmaktır. Şarj edilen taşıtların yüzey sıcaklığındaki ani değişimi fark ederek; şarj cihazlarının tümünün enerjisi otomatik keserek; ısıl sürüklenmeyi (thermal runaway) önleyebilir.

Isıl sürüklenme başladıktan sonra; durdurulamıyor. Isıl sürüklenme başlamadan önce algılamak önemlidir.

4.3 Otomatik Enerji Kesme

Yangın algılama ve uyarı sistemi veya sprinkler su akış anahtarı (water flow switch) tetiklendiği anda; tüm şarj istasyonlarının şebeke elektriğini otomatik olarak kesen bir otomasyon kurulmalıdır.

Taslak yönetmeliğe bu konuda madde konmalıdır.

5. MİMARİ

5.1 Bina Yangın Yönetmeliği Taslağındaki Maddeler

b) Şarj sistemlerinin bulunacağı birim park alanının kısa kenar ölçüsü, ilgili mevzuatta belirtilen ölçünün **1 m** arttırılması,
c) Şarj sistemlerinin içinde bulunduran şarj alanları arasına **döşemeden en az 1 m yüksekliğinde yangına 120 dakika dayanıklı duvar yapılması**, yapılamaması halinde bu alanlar arasına yangın esnasında otomatik devreye giren su perdesi yapılması,

Komşu elektrikli taşıtın yanmasını önlemeye yönelik; yukarıdaki mimari önlemler bulunmaktadır.

5.2 Çıkışa Yakın Olmak

Şarj istasyonları; otoparkların en alt bodrum katlarına konulmamalıdır. İtfaiyenin müdahale edebilmesi ve yanan taşıtı dışarı çekebilmesi için; şarj istasyonları; rampaya yakın yerlere; sokağa çıkışa yakın yerlere konumlandırılmalıdır.

6. SONUÇ

Elektrikli taşıtlarda; ısıl sürüklenmeye neden olmayan veya ısıl sürüklenme ihtimalini milyonda bire indiren teknoloji gelişecektir. Ancak o gün gelene kadar; mimari, elektrik, mekanik önlemler alarak; can kaybını ve yaralanmaları önlemek zorundayız.

Elektrikli taşıt yangınlarında; istatistiksel olarak yolcuların yanarak ölme riski; içten yanmalı taşıtlara göre çok daha düşük olsa da; kapalı otopark gibi bodrum kattaki hacimlerde açığa çıkan kimyasal gazların (özellikle Hidrojen Florür) zehirliliği; tahliye süresini kısıtlamaktadır. Bu nedenle; ana odak; bataryadan çıkan alevden ziyade; oluşan gaz miktarını azaltmak ve gazların kapalı hacimden hızla uzaklaştırılması olmalıdır.

7. KAYNAKLAR

[1] Bina Yangın Yönetmeliği “Taslağı”, 2025

[2] NFPA 13 standard, 2025 Edition

KISA ÖZGEÇMİŞ

Esat ERSOY

1980 yılında doğmuştur. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2007 yılından bugüne yangından korunma alanında çalışmaktadır. 2011 yılında Yangından Korunma Mühendisliği Danışmanlık Limited Şirketi’ni kurmuştur. NFPA CFPS sertifikalı yangından korunma uzmanıdır. Yangın danışmanı olarak çalışmaktadır.
2010 yılından beri Tüyak Derneği üyesidir.

YANGIN YÖNETMELİĞİ UYGULAMALARINDA İDARİ ÇELİŞKİLER: İSKAN SONRASI DENETİMLER, BELEDİYE YORUM FARKLILIKLARI VE İMAR-YANGIN UYUM SORUNLARI

Birkan GÜNEŞ
Perakende Yapı, Ruhsat ve Yangın Güvenliği Uygulamaları

ÖZET

Türkiye'de yangın güvenliği, yapı ruhsatı, yapı kullanma izni, işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile işletme dönemindeki denetimler arasında dağılan çok aktörlü bir süreçtir. Bu çalışma, perakende mağazalarının açılış ve ruhsat süreçlerinden türetilen anonimleştirilmiş saha gözlemlerini, Türkiye'deki yangın vakalarını ve uluslararası düzenleyici modelleri birlikte incelemektedir. Üç sorun alanı öne çıkmaktadır: iskân aşamasında incelenmiş yapılarda aynı hususların işyeri ruhsatı sırasında yeniden değerlendirilmesi, kaçış uzaklığı ve ikinci çıkış gibi hükümler konusunda yerel yorum farklılıkları ve yangın güvenliği için gerekli müdahalelerin onaylı mimari projeyle çatışması. Kartalkaya Otel Yangını Araştırma Komisyonunun bulguları ile 2026 yılında getirilen periyodik yangın güvenliği kontrolü ve yangın güvenlik uzmanlığı düzenlemeleri, Türkiye'nin belge temelli denetimden yaşam döngüsü temelli güvenceye yöneldiğini göstermektedir. Grenfell, The Station gece kulübü ve Yeni Zelanda Bina Uygunluk Belgesi sistemiyle yapılan karşılaştırma sonucunda; tekil bir rapor yerine güncel dijital bina dosyası, risk esaslı periyodik kontrol, yorum birliği mekanizması, değişiklik yönetimi ve açık sorumluluk matrisi önerilmektedir.
Anahtar Sözcükler: yangın güvenliği, itfaiye raporu, iskân, işyeri ruhsatı, periyodik kontrol, imar mevzuatı

ABSTRACT

Fire safety in Türkiye is governed through a multi-actor process dispersed across building permits, occupancy permits, business licences and operational inspections. This paper combines anonymised field observations derived from retail store opening and licensing processes with Turkish fire cases and international regulatory models. Three recurring problems are identified: repeated assessment of matters already reviewed at occupancy stage, divergent local interpretations of travel distance and second-exit requirements, and conflicts between life-safety alterations and approved architectural plans. Findings of the Turkish Parliament's Grand Kartal Hotel Fire Investigation Commission and the 2026 introduction of periodic fire-safety inspections and authorised fire-safety specialists indicate a transition from document-based approval toward lifecycle assurance. Comparisons with Grenfell, The Station nightclub fire and New Zealand's Building Warrant of Fitness system show that safety cannot depend on a one-time certificate. The paper recommends a current digital building file, risk-based periodic inspection, a binding interpretation mechanism, formal management of changes and a clear responsibility matrix. The objective is not to reduce inspections, but to replace repetitive and disconnected controls with traceable, coordinated and continuously verified safety governance.
Keywords: fire safety, fire service report, occupancy permit, business licence, periodic inspection, building regulation

1. GİRİŞ

Yangın güvenliğinin sahadaki karşılığı yalnızca bir yönetmelik maddesinin sağlanması değildir. Güvenlik; tasarım kararının doğru verilmesi, projenin doğru uygulanması, yapı kullanım sürecinde sistemlerin çalışır tutulması ve kullanım değişikliklerinin denetlenmesiyle oluşan kesintisiz bir zincirdir. Zincirin herhangi bir halkasında bilgi kaybı yaşandığında, daha önce verilmiş ruhsat ve raporlar güncel risk durumunu açıklamakta yetersiz kalabilir.

Türkiye'de uygulayıcı açısından temel güçlük, yangın güvenliği sorumluluğunun yapı ruhsatı, iskân, işyeri ruhsatı, itfaiye uygunluk raporu, turizm veya sektörel izinler ve işletme dönemi kontrolleri arasında bölünmesidir. Her kurum kendi işlem anındaki belgeye odaklandığında, binanın bütün yaşam döngüsünü izleyen tek bir güvenlik resmi oluşmamaktadır. Bunun sonucu bazen aynı kontrolün farklı aşamalarda tekrarı, bazen de kritik bir konunun hiçbir aktör tarafından sahiplenilmemesidir.

Bu bildirinin amacı denetimin azaltılmasını savunmak değildir. Amaç, tekrarlanan fakat birbirine bağlanmayan denetimleri; güncel, izlenebilir, risk esaslı ve sorumlusu belirli bir güvence sistemine dönüştürmektir. Çalışma bu sorunu, perakende işletmelerindeki açılış deneyimleri ile kitlesel can kayıplı yangınların ortaya koyduğu sistem açıklarını aynı çerçevede değerlendirmektedir.

2. YÖNTEM VE KAPSAM

Çalışmada nitel vaka analizi ve karşılaştırmalı mevzuat incelemesi kullanılmıştır. Birinci veri grubu; mağaza açılışı, tadilat, işyeri ruhsatı ve itfaiye uygunluk süreçlerinde karşılaşılan tekrar eden durumların anonimleştirilmiş bileşimidir. Bu anlatılar tek bir mağaza, şirket veya belediye hakkında iddia niteliğinde değildir; farklı zaman ve yerlerde tekrarlanan süreç örüntülerini görünür kılmak amacıyla oluşturulmuştur.

İkinci veri grubu; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı kılavuzları ve duyuruları, İçişleri Bakanlığı mevzuat ve teftiş belgeleri, TBMM Kartalkaya Otel Yangını Araştırma Komisyonu açıklamaları ile belediyelerin yayımladığı hizmet standartları ve istatistiklerdir. Uluslararası karşılaştırmada Birleşik Krallık'ın Grenfell sonrası düzenleyici reformu, ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünün The Station gece kulübü araştırması ve Yeni Zelanda'nın yıllık Bina Uygunluk Belgesi sistemi ele alınmıştır.

Çalışma hukuki mütalaa veya belirli bir olayda kusur tayini değildir. Devam eden yargı süreçlerine ilişkin kesin sorumluluk isnadı yapılmamış; yalnızca yayımlanmış resmî bulgular ve sistem tasarımına ilişkin çıkarımlar kullanılmıştır.

3. TÜRKİYE'DE YANGIN GÜVENLİĞİNİN İDARİ MİMARİSİ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik; yapı, bina, tesis ve işletmelerin tasarım, yapım, kullanım, bakım ve işletim aşamalarını birlikte kapsar [1]. Bu kapsam, güvenliğin yalnızca yapı tamamlanırken kontrol edilecek bir özellik olmadığını açıkça gösterir. Buna karşılık uygulamadaki belgeler çoğu kez belirli bir tarihin fotoğrafıdır: yapı kullanma izin belgesi binanın ruhsat ve eklerine uygun tamamlandığını; işyeri ruhsatı belirli bir faaliyetin belirli yerde yürütülebileceğini; itfaiye raporu ise inceleme tarihindeki yangın tedbirlerini gösterir.

İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik, işyerinin türüne göre yangın tedbirlerinin kontrolünü ruhsat sürecine bağlamaktadır [2]. İçişleri Bakanlığı teftiş rehberinde, itfaiye raporu gerektirmeyen işyerleri için rapor düzenlenmemesi ve rapor bilgilerinin elektronik ortamda kaydedilerek yetkili idareyle paylaşılması gerektiği belirtilmektedir [3]. Bu hükümler, uygulama birliği ve veri paylaşımının mevzuatın kendi mantığında bulunduğunu; ancak saha kapasitesi ve yerel iş akışları nedeniyle her yerde aynı olgunlukta gerçekleşmediğini göstermektedir.

2026 yılında 3194 sayılı İmar Kanunu'nda yapılan düzenleme, periyodik yangın güvenliği kontrolü ile yangın güvenlik uzmanlığı sisteminin hukuki temelini oluşturmuştur. Bakanlık açıklamasına göre kontroller mahalli itfaiye veya gerekli görülürse yetkilendirilecek uzmanlar tarafından yapılacak; bina sahipleri ve yöneticileri

düzenli kontrol yaptırmakla yükümlü olacak; tespit edilen eksiklikler için altı aya kadar süre verilebilecektir [4]. İkincil düzenlemelerle kapsam ve kontrol periyotlarının belirlenmesi beklenmektedir. Bu değişiklik, iskân sonrası dönemin kurumsal olarak görünür hâle gelmesi bakımından önemli bir eşiktir.

4. SAHADAN DÖRT TEMEL VAKA

4.1 İskânlı Ticari Bölümde Sonradan İstenen Acil Çıkış

Yazarın doğrudan saha deneyiminde, yapı ruhsatında ticarethane olarak gösterilen, onaylı projesine göre tamamlanan, bağımsız bölüm tapuları oluşan ve yapı kullanma izin belgesi alan bir yer mağaza olarak kiralanmak istenmiştir. Onaylı projede ilave acil çıkış kapısı, bağımsız bölüme ait sprinkler veya yangın dolabı öngörülmemiştir. İşyeri açma ve çalışma ruhsatı aşamasında ise fiilî mağaza yerleşimi, kullanıcı yükü ve kaçış koşulları değerlendirilerek ilave acil çıkış talep edilmiştir. Çıkışın cepheyi veya ortak alanı etkilemesi nedeniyle mimari tadilat projesi, malik muvafakati ve yeni idari onaylar gündeme gelmiş; ilk projeyi hazırlamayan kiracı, iskânlı yapının proje sorununu çözmek zorunda kalmıştır.

Bu vakada iki durum ayrılmalıdır. Kiracının depo, raf, kabin, asma kat veya bölmeleri kaçış uzaklığını ve kullanıcı yükünü değiştirmişse işyeri ruhsatı aşamasındaki yeni inceleme ilk iskânın tekrarı değil, değişen riskin kontrolüdür. Buna karşılık bağımsız bölümün geometrisi ve ticari kullanımı değişmemiş, mağazanın öngörülebilir kullanıcı yükü ilk proje aşamasında dikkate alınmamışsa sorun tasarım, proje kontrolü ve iskân zincirindedir. Aynı kullanım için gerekli çıkışın en son kiracıdan istenmesi, teknik kontrolün gereksiz olduğunu değil, önceki kararların varsayımlarının sonraki idareye taşınmadığını gösterir.

BYKHY Madde 52 uyarınca mağaza ve dükkânlarda iki bağımsız çıkış esastır; tek çıkış istisnası yalnızca bina veya yapı yüksekliğine bağlı değildir. Kullanıcı sayısı, kaçış uzaklığı, yapı malzemeleri ve parlayıcı maddeler gibi şartlar birlikte değerlendirilmelidir [1]. Bu nedenle sahadaki 'bina yüksekliği kurtarıyor' yaklaşımı eksiktir. Sprinkler ve yangın dolabı gerekliliği de yalnız bağımsız bölüm adına bakılarak değil, binanın bütün kullanım sınıfı, alanı, yüksekliği ve ortak yangın sistemiyle birlikte belirlenmelidir. Ancak bu hesap ve kabuller ilk onay dosyasında açıkça kayıtlı değilse aynı bina, iskân ve işyeri ruhsatı aşamalarında farklı sonuçlarla karşılaşabilir.

Malik gerekli tadilat projesini ve resmî onayları sağlayamıyorsa kiracının kaçak bir kapı veya belgesiz müdahaleyle çözüm üretmesi kabul edilemez. Yazarın uygulamasında can güvenliği ile imar uygunluğu birlikte sağlanamadığında taşınmazın kiralanmaması yönünde karar verilmiştir. Bu, yatırım kaybı değil; ruhsat alamama, faaliyetten men, sorumluluk, itibar ve can kaybı risklerinin yatırım öncesinde durdurulmasıdır.

4.2 Bölüm Birleştirme ve Mağaza Yerleşimiyle Değişen Risk

Yan yana bağımsız bölümlerin tek mağazaya dönüştürülmesi yalnızca ticari alan artışı değildir. Toplam alan ve kullanıcı yükü artabilir; eski çıkışlardan biri dekorasyon içinde kalabilir; yangın bölmeleri, algılama ve sprinkler zonları değişebilir; kaçış uzaklığı yeniden hesaplanabilir. Bu müdahaleler onaylı proje ve bağımsız bölüm sınırlarını etkiliyorsa tadilat projesi ve ruhsat gerekebilir [13]. Saha sarmalı, bölümler birleştirildikten ve kira-dekorasyon maliyeti oluştuktan sonra ikinci çıkış ihtiyacının ortaya çıkması; çıkış ortak alan veya cepheye bağlı olduğunda malikin proje ve mülkiyet onaylarını sağlayamamasıdır. Teknik inceleme bu nedenle kira sözleşmesinden ve yatırım kararından önce yapılmalıdır.

4.3 Eski AVM'de Ortak Kaçış Yolunun Sağlanamaması

Eski bir AVM veya ticari yapıda mağaza başka bir bağımsız bölüme taşınmak istendiğinde, yeni bölümün gerekli yangın koridoruna, korunumlu kaçış holüne veya güvenli açık alana devam eden çıkışa sahip olmadığı görülebilmektedir. Yapının eski veya arsa tapulu olması ve ortak alanda proje tadilatı yapılamaması, fiilen gerekli can güvenliği tedbirini kendiliğinden ortadan kaldırmaz. Kaçış yolu mağaza kapısında sona ermez; güvenli alana kadar kesintisiz devam eder [1]. Ortak koridor korunumsuzsa, çıkış başka kiracının kontrolündeyse veya gerekli hol bulunmuyorsa kiracı yalnız kendi sınırları içinde tam çözüm kuramaz. Bu durumda

yatırımın iptal edilmesi, çözülemeyen ortak yapı riskinin kabul edilmemesidir.
Ruhsat sonrasında da uygunluğun korunması gerekir. Acil çıkış tabelasının eski yerleşimi göstermesi, panik barın kırık olması, kapının kilitlenmesi veya önünün stokla kapatılması; sprinkler başlıklarının yüksek raf ve asma tavanla etkisizleşmesi; alarmın AVM ana paneline bağlanmaması ve ortak kaçış alanlarının kiosklarla daraltılması, belgenin varlığı ile gerçek güvenlik arasındaki farkı büyütür. Yerel yönetim denetimi gerekli olmakla birlikte malik, AVM yönetimi ve perakendeci günlük kontrol sorumluluğunu üstlenmedikçe güvenlik sürdürülemez.

4.4 İtfaiye Raporu ile İlçe Ruhsat Denetiminin Farklı Takvimleri

Özellikle büyükşehirlerde yangın tedbirleri tamamlanıp itfaiye raporu başvurusu yapıldıktan sonra raporun sonuçlanması uzun sürebilmektedir. Rapor beklenirken işyeri ruhsatı tamamlanamadığında ilçe belediyesi işletmeyi ruhsatsız faaliyet yönünden denetlemekte; sık ziyaret, belge talebi, tutanak ve yaptırım riski doğmaktadır. Bekleyen başvuru ruhsat yerine geçmez ve ilçe belediyesinin denetim görevini kaldırmaz. Sorun, büyükşehir itfaiyesindeki dosya durumunun ilçe ruhsat birimince aynı sistemden görülememesi ve gecikmenin bütün ekonomik-idari yükünün başvuru sahibinde kalmasıdır.
İstanbul Büyükşehir Belediyesinin 2026 hizmet envanterinde itfaiye görüş ve raporu için standart süre 30 gün, ortalama tamamlanma süresi 38 gün ve yıllık işlem sayısı 30.138'dir [14]. Ankara'da yayımlanan azami süre 120 gündür [15]. Dosya incelemesi, yerinde kontrol, eksiklik giderme ve yeniden inceleme bu süreleri etkileyebilir; veriler her başvurunun geciktiği anlamına gelmez. Bununla birlikte yatırım takvimi ile kamu hizmeti takviminin uyumsuzluğu yapısal bir koordinasyon sorunudur. Tek başvuru numarası, büyükşehir-ilçe ortak durum ekranı, eksiklerin tek bildirimde toplanması ve süre aşımında gerekçeli üst inceleme yolu kurulmalıdır [16]. Bu kayıt zımni çalışma izni oluşturmamalı, fakat mükerrer belge taleplerini ve gereksiz ziyaretleri azaltmalıdır.

5. TÜRKİYE'DEKİ VAKALARIN GÖSTERDİĞİ SİSTEM SORUNLARI

5.1 Grand Kartal Otel Yangını

21 Ocak 2025'te Grand Kartal Otel'de meydana gelen ve 78 kişinin hayatını kaybettiği yangın, yangın güvenliği sorumluluğunun kurumlar ve işletme dönemi arasında nasıl dağılabildiğini ülke gündemine taşımıştır. TBMM Araştırma Komisyonu, işletme yöneticileri ve çalışanların gerekli tedbirleri zamanında almamasının yanı sıra görevli kurumların denetim eksiklikleri bulunduğunu açıklamıştır [5]. Komisyonun önerileri arasında itfaiye raporlarına geçerlilik süresi getirilmesi, yangın projeleri ve iskân kontrollerine itfaiyenin katılması, yetki-sorumlulukların açık düzenlenmesi, denetim verilerinin merkezi yazılımda tutulması ve giderilmeyen aykırılıkların yaptırımlarının belirlenmesi yer almaktadır [5]. Bu önerilerin tümü, tek seferlik uygunluk belgesinden sürekli güvence modeline geçiş ihtiyacına işaret etmektedir.

5.2 Denetimden Sonra Uygunluğun Korunması

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından açıklanan 2021 verilerinde 7.393 işletmenin denetlendiği, 4.909 işletmenin uygunluk raporu aldığı ve 1.362 işletmenin uygun bulunmadığı belirtilmiştir [6]. Daha güncel bir belediye açıklamasında ise itfaiye raporu ve ruhsatı bulunan işletmelerin rapordaki şartlara sadık kalma oranının yaklaşık yüzde 10 olduğu ifade edilmiştir [7]. İkinci oran bilimsel örneklem çalışması değil, saha yöneticisinin kurumsal gözlemidir; buna rağmen denetim günü ile işletme dönemi arasındaki kopuşu çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır.

5.3 Yangın Sonrası Reaktif Denetim Dalgası

Büyük yangınlardan sonra otel, eğlence yeri ve toplu kullanım alanlarında yoğun denetimler yapılması toplumun güvenlik talebine verilen doğal bir karşılıktır. Ancak dönemsel kampanyalar, düzenli risk takviminin yerini tutamaz. Uludağ'daki bir otel yangını sonrasında yürütülen adli soruşturma da yangın güvenliğinin

yalnızca belge varlığıyla değil, binanın fiili durumu ve işletme uygulamalarıyla değerlendirilmesi gerektiğini yeniden göstermiştir [8]. Etkili model, facia sonrasında bütün tesisleri aynı anda kontrol etmek yerine risk puanına göre sürekli denetim yapabilen modeldir.

6. ULUSLARARASI DENEYİMLER

6.1 Grenfell: Parçalı Düzenleyici Yapının Bedeli

Londra'daki Grenfell Tower yangınında 72 kişi hayatını kaybetmiştir. Grenfell Soruşturması sonrasındaki resmî reform programı, düzenleyici sistemin aşırı karmaşık ve parçalı olmasının risklerin kurumlar arasında bağlantısız kalmasına yol açtığını kabul etmektedir [9]. 2026 tarihli bağımsız inceleme de yapı kontrolünde parçalanma, çıkar çatışmaları, eşitsiz kapasite ve tutarsız gözetim sorunlarını vurgulamıştır [10]. Birleşik Krallık'ın tek yapı düzenleyicisine yönelmesi, Türkiye açısından doğrudan kurum kopyalamaktan çok 'tek hesap verebilir güvenlik resmi' oluşturma bakımından önemlidir.

6.2 The Station: Mevcut Bina Muafiyetlerinin Sınırı

ABD'de 2003 yılında The Station gece kulübünde çıkan yangında 100 kişi hayatını kaybetmiştir. NIST araştırması, dumanın bir dakikadan biraz fazla sürede ana girişte görünür hâle geldiğini, kullanıcıların yaklaşık üçte ikisinin aynı girişe yöneldiğini ve sprinkler bulunmadığını belirlemiştir [11]. NIST; yeni ve mevcut gece kulüplerinde sprinkler zorunluluğu, çıkış hesabında bir çıkışın kullanılamayacağı varsayımı, personel eğitimi ve eski binaların genel muafiyetinin kaldırılması yönünde öneriler geliştirmiştir. Ders açıktır: mevcut yapı statüsü, yüksek can riski bulunan kullanımlarda sınırsız bir kazanılmış hak olarak yorumlanmamalıdır.

6.3 Yeni Zelanda: Yıllık Bina Uygunluk Belgesi

Yeni Zelanda'da yangın alarmı, sprinkler ve benzeri belirlenmiş sistemleri bulunan binalar için bir uygunluk programı düzenlenmekte; malik bu sistemlerin programdaki usule göre kontrol ve bakımını sağlamakta ve her 12 ayda bir Bina Uygunluk Belgesi düzenleyip yerel idareye sunarak binada görünür şekilde sergilemektedir [12]. Bazı sistemler bağımsız nitelikli kişilerce doğrulanmaktadır. Bu model, iskân belgesini tekrarlamak yerine iskân sırasında tanımlanan kritik sistemlerin işletme boyunca çalıştığını doğrular.

7. 2026 DÜZENLEMESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Periyodik kontrol ve yangın güvenlik uzmanlığı, Türkiye'nin uzun süredir ihtiyaç duyduğu işletme dönemi gözetimini güçlendirebilir. Bununla birlikte yeni sistemin başarısı, kontrol sayısından çok veri ve sorumluluk tasarımına bağlıdır. Kontrol sonucu eski dosyadan kopuk yeni bir PDF üretilirse belge sayısı artacak, fakat binanın güvenlik hafızası yine oluşmayacaktır.

İkincil düzenlemede en az beş konunun açıklaştırılması gerekir: hangi yapıların hangi risk puanıyla ve hangi periyotlarda kontrol edileceği; uzman ile itfaiye arasındaki görev sınırı; eksikliklerin önem derecesi ve giderme süreleri; raporların ruhsat, iskân ve tadilat projeleriyle dijital bağlantısı; farklı teknik yorumların bağlayıcı ve hızlı biçimde çözüleceği merkezi mekanizma. Ayrıca kontrol hizmetinin bedelini ödeyen ile raporu düzenleyen arasındaki ilişkinin bağımsızlığı güvence altına alınmalıdır.

Yeni sistem, belediyeler arası kapasite farkını da dikkate almalıdır. Merkezi asgari kontrol listesi ve karar ağacı zorunlu olmalı; ancak bina geometrisi ve performansa dayalı çözümler için uzman görüşüne alan bırakılmalıdır. Denetçinin yorumu gerekçeli, ölçülebilir ve dijital dosyada izlenebilir olduğunda hem güvenlik hem yatırım öngörülebilirliği güçlenir.

8. ÖNERİLEN ENTEGRE MODEL

8.1 Tekil Rapor Yerine Dijital Yangın Güvenliği Dosyası

Her bina için yapı ruhsatından başlayarak yangın projesi, iskân kontrolleri, itfaiye raporları, işyeri ruhsatları, periyodik testler, bakım kayıtları, kullanım ve tadilat değişikliklerini içeren yaşayan bir dijital dosya oluşturulmalıdır. Bağımsız bölüm işletmecisi yalnızca kendi sorumluluk alanını; malik veya yönetim ortak sistemleri güncellemelidir. Yetkili kurumlar aynı veriye rol bazlı erişebilmelidir.

8.2 Risk Esaslı Kontrol Periyodu

Kontrol sıklığı yalnızca metrekareye göre değil; kullanıcıların uyku hâlinde olması, hareket kısıtlılığı, kullanıcı yükü, bina yüksekliği, yangın yükü, tek/çoklu kiracılı yapı, önceki uygunsuzluklar ve sistem arızaları gibi ölçütlere göre belirlenmelidir. Yüksek riskli ve tekrar uygunsuzluk gösteren tesisler daha sık; düşük riskli ve doğrulanmış bakım geçmişi bulunan tesisler daha seyrek kontrol edilmelidir.

8.3 Ulusal Yorum ve İtiraz Mekanizması

Kaçış uzaklığı, ikinci çıkış, mevcut yapı uygulaması veya eşdeğer çözüm konusunda yerel birimler arasında görüş ayrılığı oluştuğunda, dosyanın haftalar içinde sonuçlandırılacağı teknik bir kurul veya dijital karar mekanizması bulunmalıdır. Kararlar anonimleştirilerek yayımlanmalı ve benzer olaylarda emsal teknik yorum oluşturmalıdır.

8.4 Yangın Güvenliği Tadilatı İçin Eş Zamanlı Onay

Acil çıkış, yangın merdiveni, şaft, duman tahliyesi veya kompartıman müdahalesi gerektiren dosyalarda itfaiye, imar, yapı kontrolü ve gerektiğinde koruma kurulu aynı dijital süreçte görüş vermelidir. Başvuru sahibine birbirini geçersiz kılan ardışık talepler yöneltilmemelidir. Güvenlik tadilatları için hızlandırılmış süreler tanımlanmalı; taşıyıcı sistem, cephe ve mülkiyet hakları yine korunmalıdır.

8.5 Değişiklik Yönetimi ve Sorumluluk Matrisi

Bir mağazanın dekorasyonu, raf yüksekliği, depo alanı, kapı kilidi, kullanıcı yükü veya kullanım türü değiştiğinde hangi değişikliğin yeniden değerlendirme gerektirdiği önceden tanımlanmalıdır. Malik; ortak kaçış ve aktif sistemlerden, işletmeci; bağımsız bölüm düzeni ve günlük işletmeden, bakım kuruluşu; test ve kayıt doğruluğundan, uzman; incelemenin mesleki yeterliliğinden, idare ise yaptırım ve veri bütünlüğünden sorumlu olmalıdır. Sorumluluk paylaşıldığında ortadan kalkmamalı, görünür hâle gelmelidir.

8.6 Kiralama Öncesi Yangın Güvenliği Teknik İncelemesi

Yangın uygunluğu kira sözleşmesinden ve dekorasyon yatırımından sonra çözülmesi gereken bir ruhsat işi olmaktan çıkarılmalıdır. Yatırım kararı öncesinde onaylı mimari ve tahliye projeleri, yapı kullanma izin belgesi, mevcut itfaiye raporları, ortak sistem testleri ve bağımsız bölümün planlanan mağaza yerleşimi birlikte incelenmelidir. İnceleme sonunda ‘mevcut hâliyle uygun’, ‘malik işi tamamlanırsa uygun’ veya ‘proje ve mülkiyet engeli nedeniyle uygun değil’ şeklinde karar verilmelidir.

8.7 Yangın Güvenliği Ön Koşullu Kira Sözleşmesi

Kira sözleşmesinde ortak alarm, sprinkler, pompa, su deposu, duman kontrolü, kaçış holü ve ortak koridorun sorumlusu açıkça belirtilmelidir. Malik proje tadilatını veya ortak sistem uygunluğunu belirlenen tarihte sağlayamazsa kiracının cezai şart olmadan sözleşmeden çıkabilmesi; ruhsat alınamaması hâlinde yapılan yatırımın ve süre kaybının nasıl paylaşılacağı düzenlenmelidir. Böylece teknik belirsizlik ticari baskıyla gizlenmez.

8.8 Devreye Alma ve Değişiklik Yönetimi

Mağaza açılmadan önce yalnız görsel kontrol değil, gerçek senaryo testi yapılmalıdır. Alarmın ana panele düşmesi, sesli uyarının duyulması, acil aydınlatma, manyetik kilit ve otomatik kapıların enerji kesintisindeki

davranışı, sprinkler vanalarının açık konumu ve çıkışların kullanılabilirliği kayıt altına alınmalıdır. Açılıştan sonra depo büyütme, raf yükseltme, bölüm birleştirme, kullanıcı yükü artırma veya faaliyet değişikliği gibi işlemler için yeniden değerlendirme eşiği tanımlanmalıdır.

8.9 İşletmeci Öz Denetimi ve Yönetim Göstergeleri

Perakendeci günlük açılış kontrolüne acil çıkışların kilitsiz ve engelsiz olması, panik bar ve kapıların çalışması, yönlendirme ve acil aydınlatmanın görünürlüğü ile ortak sisteme ilişkin arıza bildirimlerini eklemelidir. Aylık yönetim raporlarında yalnız satış ve açılış takvimi değil; açık yangın uygunsuzluğu sayısı, kapatma süresi, tekrar eden arıza, tatbikat sonucu ve malik kaynaklı bekleyen işler de izlenmelidir. Güvenlik, teknik ekibin görünmeyen faaliyeti olmaktan çıkarılıp üst yönetimin performans göstergesine dönüşmelidir.

8.10 Büyükşehir-İlçe Ortak Takvimi ve Başvuru İzleme Mekanizması

İtfaiye raporu ile işyeri ruhsatı tek bir süreç haritasında yönetilmelidir. Başvuru sahibi dosyanın hangi kurumda, hangi aşamada ve hangi gerekçeyle beklediğini görebilmeli; ilçe ruhsat birimi de büyükşehir itfaiyesindeki güncel duruma erişebilmelidir. İlk inceleme, yerinde kontrol, eksiklik bildirimi, yeniden kontrol ve rapor onayı için ayrı hizmet hedefleri tanımlanmalı; başvuru sahibinden kaynaklanmayan bekleme süreleri ayrıca ölçülmelidir. Süre aşımında otomatik bildirim ve üst inceleme yolu çalışmalı, fakat bu mekanizma kritik yangın eksikliği bulunan bir işyerine fiilî çalışma izni üretmemelidir. Böylece denetim zayıflatılmadan belirsizlik, mükerrer işlem ve kurumlar arası zaman çatışması azaltılabilir.

9. UYGULAYICI VE YÖNETİCİ PERSPEKTİFİ

Üst yönetim açısından temel hata, yangın güvenliğini açılış tarihini geciktiren teknik bir kontrol olarak görmektir. Uygun olmayan taşınmaza yatırım yapmamak, kısa vadede mağaza açılışından vazgeçmek anlamına gelebilir; uzun vadede ise can kaybı, faaliyetten men, ceza sorumluluğu, marka itibarı ve geri alınamaz yönetim krizini önler. Bu nedenle güvenlik nedeniyle alınan olumsuz yatırım kararı başarısızlık değil, kurumsal risk yönetimidir.

İkinci hata, bütün sorumluluğu belediyeye veya itfaiyeye bırakmaktır. Yönetmelik; idare, yatırımcı, malik, tasarımcı, yapı denetimi ve işletmeci arasında kusura göre dağılan bir sorumluluk sistemi kurmaktadır [1]. Denetim kamu otoritesinin görevi olsa da mağazanın her sabah güvenli açılması işletmecinin kontrolündedir. Kırık panik barı, kilitli çıkışı veya önü stokla kapatılmış kapıyı bir sonraki resmî denetime kadar beklet-mek kabul edilebilir değildir.

Üçüncü hata, iskân ve ruhsatı sonuç belgesi olarak görmektir. İskân, onay tarihindeki yapı ve projeye; işyeri ruhsatı ise belirli faaliyet ve yerleşime dayanır. Sonraki her esaslı değişiklik güvenlik varsayımlarını etkileyebilir. Bu nedenle doğru yönetim sorusu ‘belgemiz var mı?’ değil, ‘belgenin dayandığı koşullar bugün hâlâ geçerli mi?’ olmalıdır.

Bu çalışmanın uygulayıcı görüşü şudur: ruhsat alınabilir mağaza ile güvenli şekilde işletilebilir mağaza aynı şey değildir. İyi yönetişim, iki koşulun da aynı anda ve sürdürülebilir biçimde sağlanmasını gerektirir.

10. SONUÇ

Türkiye’de yangın güvenliği tartışması uzun süre ‘rapor var mı?’ sorusuna sıkışmıştır. Oysa asıl soru, raporun dayandığı sistemlerin bugün çalışıp çalışmadığı, binadaki değişikliklerin dosyaya işlenip işlenmediği ve uygunsuzluk görüldüğünde kimin ne sürede harekete geçeceğidir.

Saha deneyimi, aynı belgenin farklı kurumlarca tekrar istenmesinin güvenliği kendiliğinden artırmadığını; buna karşılık önceki denetim verisinin paylaşılmamasının hem zaman kaybı hem de sorumluluk boşluğu ürettiğini göstermektedir. Kartalkaya bulguları, Grenfell sonrası reformlar ve The Station araştırması, parçalı sorumluluk, eski bina muafiyetleri ve işletme dönemi takibinin yetersizliğinin yalnızca Türkiye’ye özgü

olmadığını ortaya koymaktadır. Yeni Zelanda örneği ise kritik sistemlerin yıllık ve görünür biçimde doğrulanabileceğini göstermektedir.

22 Mayıs 2026 düzenlemesi Türkiye için önemli bir fırsattır. Başarı; daha çok rapor üretmekten değil, binanın yaşam döngüsünü izleyen dijital hafıza, risk esaslı periyodik kontrol, ulusal yorum birliği, eş zamanlı imar-yangın onayı ve açık sorumluluk zinciri kurmaktan geçmektedir. Yangın güvenliği bir açılış koşulu değil, işletmenin her gün yeniden sağlaması gereken bir performanstır.

KAYNAKLAR

[1] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Kılavuzu, 2026, https://webdosya.csb.gov.tr/v2/meslekihizmetler/2026/05/Binalar-n-Yang-n-Korunmas-Hakk-nda-Y-netmelik-K-lavuzu-20260507112134.pdf

[2] İçişleri Bakanlığı, İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik, https://www.icisleri.gov.tr/kurumlar/icisleri.gov.tr/IcSite/strateji/yikob-panel/mevzuat/Atiflar/6-_-Isyeri-Acma-ve-Calisma-Ruhsatlarina-Iliskin-Yonetmelik.pdf

[3] İçişleri Bakanlığı Mülkiye Teftiş Kurulu, Belediyeler Genel İş ve Yürütümü Teftiş Rehberi, https://www.icisleri.gov.tr/kurumlar/icisleri.gov.tr/IcSite/mulkiyeteftis/Teftis-Rehberleri/BELEDIYELER-GENEL-IS-VE-YURT-TEF-REHB.pdf

[4] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 'Binalarda Yangın Güvenliğinde Yeni Dönem', 22 Mayıs 2026, https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/haberler/binalarda-yangin-guvenliginde-yeni-donem-305321

[5] Türkiye Büyük Millet Meclisi, Kartalkaya Otel Yangınını Araştırma Komisyonu Başkanı Basın Toplantısı, 21 Ocak 2026, https://www.tbmm.gov.tr/Haber/Detay?Id=783a7036-5f1b-4ef1-8acf-019be1bfefe1

[6] İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı, 'İtfaiye Denetim ve Önleme Personeline Eğitim', https://itfaiye.izmir.bel.tr/tr/HaberDetay/8083/59

[7] İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı, 'Büyükşehir'den güvenli İzmir için sıkı denetim', https://itfaiye.izmir.bel.tr/tr/HaberDetay/11330/59

[8] T.C. Adalet Bakanlığı, 'Uludağ'daki Otel Yangını Soruşturmasına İlişkin Açıklama', https://basin.adalet.gov.tr/adalet-bakani-yilmaz-tunctan-uludagdaki-otel-yangini-sorusturmasina-iliskin-aciklama

[9] UK Government, Single Construction Regulator Prospectus: Government Response, 9 July 2026, https://www.gov.uk/government/consultations/single-construction-regulator-prospectus/outcome/single-construction-regulator-prospectus-government-response

[10] UK Building Control Independent Panel, Building Control Independent Panel Report, 20 May 2026, https://www.gov.uk/government/publications/building-control-independent-panel-report

[11] National Institute of Standards and Technology, Key Findings and Recommendations: The Station Nightclub Fire, https://www.nist.gov/el/key-findings-and-recommendations-improvement-nist-investigation-station-nightclub-fire

[12] New Zealand Ministry of Business, Innovation and Employment, Managing Your Building Warrant of Fitness, updated 26 November 2024, https://www.building.govt.nz/managing-buildings/managing-your-bwof

[13] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yerel Yönetimler Genel Müdürlüğü, Niteliği Değişen Binalarda İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatı Hakkında Görüş, https://webdosya.csb.gov.tr/db/yerelyonetimler/icerikler/n-tel-g--deg-sen-b-nalarda--syer--acma-ve-calisma-ruhsati-20220208084419.pdf

[14] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı, 2026 Kamu Hizmet Envanteri; 'Yangın Önlemlerini Gösteren İtfaiye Görüş ve İtfaiye Raporu Hazırlanması', https://uploads.ibb.istanbul/uploads/KHE_Itfaiye_DB_2026_e04c67d6b8.pdf

[15] Ankara Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı, Kamu Hizmet Standartları Tablosu, https://s.ankara.bel.tr/files/2025/06/16/9dc84baceea845c00e69924eab509d38.pdf

[16] T.C. İçişleri Bakanlığı, 'Yatırım Ortamını İyileştirme Koordinasyon Kurulu Çalışmaları Çerçevesinde Türkiye e-Belediyeye Geçiyor', https://www.icisleri.gov.tr/yatirim-ortamini-iyilestirme-koordinasyon-kurulu-calismalari-cercevesinde-turkiye-e-belediyeye-geciyor

KISA ÖZGEÇMİŞ

Birkan Güneş, perakende sektöründe mağaza açılışı, işyeri ruhsatı, iskân, imar ve yangın güvenliği süreçlerinin saha koordinasyonu üzerine çalışmaktadır. Çalışmalarında farklı yerel idare uygulamalarının operasyon, yatırım takvimi ve can güvenliği üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır.

YANGIN GÜVENLİĞİNDE YETKİLENDİRİLMİŞ UZMAN MODELİ: DANİMARKA UYGULAMASI VE TÜRKİYE İÇİN GELİŞEN YAPININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa Salih KORKMAZ

ÖZET

Yangın güvenliği mevzuatının etkinliği, teknik hükümlerin yanı sıra bu hükümleri tasarlayan, kontrol eden ve kullanım sürecinde doğrulayan uzmanların yetki ve sorumluluklarının açık biçimde tanımlanmasına bağlıdır. Bu çalışmada Danimarka Yapı Yönetmeliği BR18 kapsamındaki sertifikalı yangın danışmanı modeli ile Türkiye'de iki ayrı düzenleme ekseninde gelişen yapı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. BR18'de yangın sınıflandırması, danışmanın hazırlayıcı, kontrolör ve üçüncü taraf kontrolörü rolleri, yangın güvenliği dokümantasyonu ile başlangıç ve tamamlama beyanları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'de ilk eksen, belirli büyüklük ve riskteki yapıların yangın tahliye, algılama ve söndürme projelerinin tasarım gözetimine tabi tutulmasıdır. İkinci eksen ise mevcut yapılarda periyodik kontrol, Yangın Güvenlik Raporu, eksikliklerin giderilmesi ve uygunluk kontrolünü öngören taslak düzenlemedir. Çalışmada bu mekanizmaların yapı yaşam döngüsünü tamamlayıcı biçimde kapsadığı; ancak yetkinlik seviyeleri, bağımsızlık, kalite güvencesi ve mesleki sorumluluğun bütüncül biçimde düzenlenmesi gerektiği değerlendirilmiştir. SFPE minimum teknik yetkinlik çerçevesi, eğitim ve deneyim şartlarıyla birlikte ulusal model için referans olarak ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yangın güvenliği, yetkilendirme, yangın güvenlik uzmanı, sertifikalı yangın danışmanı, mesleki yetkinlik.

AUTHORIZED PROFESSIONAL MODEL IN FIRE SAFETY: THE DANISH PRACTICE AND AN EVALUATION OF THE EMERGING FRAMEWORK IN TÜRKİYE

ABSTRACT

The effectiveness of fire safety regulation depends not only on technical requirements but also on clearly defined authority and responsibility for the professionals who design, review and verify fire safety throughout a building's life cycle. This paper compares the certified fire consultant model under the Danish Building Regulations BR18 with the framework developing in Türkiye through two regulatory tracks. The BR18 assessment covers fire classification, the consultant's roles as preparer, inspector and third-party inspector, fire safety documentation, and declarations at commencement and completion. In Türkiye, the first track requires design supervision of fire evacuation, detection and suppression projects for specified large or high-risk buildings. The second is a draft framework for existing buildings based on periodic inspection, a Fire Safety Report, rectification of deficiencies and follow-up conformity inspection. The study concludes that these mechanisms may complement each other across the building life cycle; however, competency levels, independence, quality assurance and professional liability require an integrated framework. SFPE minimum technical competencies, including education and experience expectations, are considered as a reference for a national qualification model.

Key Words: Fire safety, authorization, fire safety expert, certified fire consultant, professional competency.

1. GİRİŞ

Yangın güvenliği; mimari tasarım, taşıyıcı sistem, aktif ve pasif koruma sistemleri, tahliye, işletme, bakım ve denetim süreçlerini birlikte ele alan disiplinler arası bir alandır. Mevzuatın teknik gereklilikleri ne kadar ayrıntılı olursa olsun, bu gereklilikleri yorumlayan ve uygulayan kişilerin yeterliliği açık biçimde tanımlanmadığında aynı yapı için farklı güvenlik seviyeleri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle çağdaş düzenleyici sistemlerde "hangi çözümün uygulanacağı" sorusu kadar "çözümü kimin hazırlayacağı, kimin kontrol edeceği ve sorumluluğu kimin üstleneceği" soruları da önem taşımaktadır.

Avrupa'da yangın güvenliği mühendisliğinin yaygınlaştırılmasına ilişkin güncel çalışmalar, performansa dayalı tasarımın uygulanabilmesi için yalnızca yöntem ve standartların değil, tasarımcılar, kontrol görevlileri ve idari personel için uygun eğitim ve yeterlilik çerçevelerinin de gerekli olduğunu göstermektedir [3]. Benzer biçimde SFPE, yangın korunum mühendisliği uygulamasının temelini yapılandırılmış eğitim ile uygulamalı deneyimin birlikte oluşturduğunu ve kişinin yalnızca teknik olarak yetkin olduğu alanlarda görev alması gerektiğini vurgulamaktadır [2].

Bu çalışmanın amacı, Danimarka'da düzenlenmiş sertifikalı yangın danışmanı modelinin temel bileşenlerini incelemek; Türkiye'de proje aşamasındaki tasarım gözetmenliği ile mevcut yapılardaki periyodik kontrol yaklaşımını ayrı ancak tamamlayıcı mekanizmalar olarak değerlendirmek ve ulusal bir yetkilendirme sistemi için ölçütler önermektir. Çalışma, ilgili mevzuat ve taslak düzenlemeler ile mesleki yetkinlik dokümanlarının nitel incelemesine dayanmaktadır.

2. YANGIN GÜVENLİĞİNDE YETKİLENDİRME VE YETKİNLİK

Yetkilendirme, bir kişinin belirli bir mesleki faaliyeti hukuken veya idari olarak yürütmesine izin verilmesini; yetkinlik ise bu faaliyeti güvenli ve doğru biçimde yerine getirebilmek için gerekli bilgi, beceri, muhakeme ve deneyime sahip olunmasını ifade eder. Bu iki kavram birbirinin yerine kullanılamaz. Bir belgenin güvenilirliği; eğitimin kapsamı ve derinliği, değerlendirme yöntemi, uygulama deneyimi, görev sınırları, bağımsızlık ve sürekli mesleki gelişim unsurlarının birlikte kurulmasına bağlıdır.

SFPE tarafından yayımlanan minimum teknik yetkinlik çerçevesi, yangın korunum mühendisliği uygulaması için dört çekirdek alan tanımlar: yangın bilimi, insan davranışı ve tahliye, yangından korunma sistemleri ve yangın güvenliği analizi [2]. Çerçevede yalnızca konu başlıkları değil, bu alanların kapsamlı biçimde anlaşılması için önerilen öğrenci iş yükü de belirtilmiştir. Her bir temel yetkinlik için önerilen saatler Tablo 1'de özetlenmiştir. SFPE, bu sürelerin ders temas saati değil, öğrenme çıktılarının kazanılması için gerekli toplam iş yükü olarak değerlendirilmesini önermektedir. Basit toplama ile listedeki aralıklar yaklaşık 1.760–2.370 saatlik bir iş yüküne karşılık gelmektedir. Bununla birlikte SFPE, bu tablonun belirli bir üniversite programını veya tek bir diploma yolunu zorunlu kılmadığını; ders, uygulama, proje, bireysel çalışma ve sınav hazırlığını kapsayan bir öğrenme hacmini tarif ettiğini özellikle vurgulamaktadır [2].

Bu noktada AKTS (Avrupa Kredi Transfer ve Biriktirme Sistemi/ECTS) önem kazanmaktadır. AKTS, yalnızca sınıfta geçirilen süreyi değil; ders, laboratuvar, proje, ödev, bireysel çalışma ve sınavlar dâhil toplam öğrenci iş yükünü ölçer. Avrupa uygulamasında 1 AKTS yaklaşık 25–30 saatlik toplam iş yüküne, 60 AKTS ise bir akademik yıllık tam zamanlı öğrenmeye karşılık gelir. Bu kabul kullanıldığında SFPE'nin önerdiği toplam konu iş yükü yaklaşık 59–95 AKTS aralığına denk gelmektedir. Ancak bu dönüşüm yaklaşık olup, konu alanları arasında olası örtüşmeler nedeniyle bir diploma eşdeğerliği olarak yorumlanmamalıdır.

SFPE yaklaşımında eğitim, yetkinliğin yalnızca akademik bileşenidir. Bir dersin tamamlanması kişiyi o konuda uzman yapmaz; asgari yetkinliğin oluşması için proje deneyimi, artan sorumluluk düzeyi, yetkin kişilerin gözetimi ve mesleki muhakemenin gelişmesi gerekir. Her uygulayıcının dört çekirdek alanda temel yeterliliğe sahip olması, buna karşılık belirli alt alanlarda derinleşmesi beklenir. Bu ayrım, Türkiye'de ortak bir çekirdek bilgi tabanı ile tahliye, aktif sistemler, pasif koruma, duman kontrolü, yapısal yangın mühendisliği ve modelleme gibi alanlarda kademeli uzmanlaşma kurulması bakımından önemlidir.

Tablo 1. SFPE'nin önerdiği çekirdek yetkinlik alanları ve öğrenme iş yükleri [2]

Çekirdek Alan	Bilgi Alanı	Önerilen İş Yükü	Değerlendirme
Yangın Bilimi	Isı transferi; yangın kimyası; yangın dinamiği	120–160; 80–120; 160–200 saat	Fiziksel ve kimyasal temeller
İnsan Davranışı ve Tahliye	İnsan davranışı ve fizyolojik tepki; kaçış ve can güvenliği tasarımı	80–120; 80–120 saat	Davranış, tenability ve tahliye tasarımı
Yangından Korunma Sistemleri	Pasif sistemler; aktif sistemler; algılama ve alarm; söndürme	60–90; 60–90; 120–160; 120–160 saat	Tasarım, kurulum, test ve güvenilirlik
Yangın Güvenliği Analizi	PBD; duman yönetimi; tahliye; yapısal yangın; risk; sayısal modelleme; mevzuat	160–200; 120–160; 120–160; 120–160; 140–180; 160–200; 60–90 saat	Mühendislik analizi ve karar verme

3. DANİMARKA'DA SERTİFİKALI YANGIN DANIŞMANI MODELİ

Danimarka Yapı Yönetmeliği BR18, yapı ruhsatı sürecinde yangın güvenliği dokümantasyonunu yapıların yangın sınıfı ile ilişkilendirmektedir. Yangın sınıfı 2–4 kapsamındaki yapı işlerinde sertifikalı bir yangın danışmanının sürece dahil edilmesi ve yönetmeliğin yangın hükümlerine uygunluğun belgelenmesi veya kontrol edilmesi öngörülmektedir [1]. Bu düzenleme, yangın güvenliği sorumluluğunu belirsiz bir proje ekibine bırakmak yerine, tanımlanmış niteliklere sahip bir uzmanın rolü üzerinden yapılandırmaktadır.

Modelin öne çıkan unsurları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yapının karmaşıklığı ve risk düzeyi, yangın sınıfları aracılığıyla yetkilendirme seviyesine bağlanmaktadır.
- Sertifikalı yangın danışmanı, yangın güvenliği dokümantasyonunun hazırlanması veya kontrol edilmesinde tanımlı görev üstlenmektedir.
- Daha yüksek yangın sınıflarında bağımsız üçüncü taraf kontrolü devreye girmektedir.
- Proje başlangıcı, uygulama süreci ve tamamlanma aşamalarında hazırlanacak beyan ve dokümanlar belirlenmektedir.
- Aktif tasarımcı, kontrolör ve üçüncü taraf kontrolörü rolleri birbirinden ayrıştırılmaktadır.

BR18'in eklerinde, sertifikalı yangın danışmanının dokümantasyonu hazırlayan, dokümantasyonu kontrol eden veya üçüncü taraf kontrolü yapan kişi olarak üstlenebileceği görevler ayrı tablolar halinde tanımlanmıştır [1]. Bu ayrım, aynı kişinin tasarım üretmesi ile bağımsız kontrol gerçekleştirmesi arasındaki çıkar çatışması riskini azaltan önemli bir yönetişim aracıdır.

3.1. Yangın sınıfları ve sertifikalı danışman zorunluluğu

BR18, yangın güvenliği doğrulamasının kapsamını binanın yangın sınıfıyla ilişkilendirir. Yangın sınıfı 1, önceden kabul edilmiş çözümlerle ele alınabilen düşük karmaşıklıktaki yapıları; yangın sınıfı 4 ise en yüksek karmaşıklık düzeyini ve performansa dayalı veya alternatif çözümlerin yoğunlaştığı yapıları kapsar. Yangın sınıfı 2–4 için sertifikalı yangın danışmanı, yangın sınıfı 4 için ayrıca bağımsız üçüncü taraf kontrolörü zorunludur [1].

Danimarka'daki sertifikasyon düzeyleri yalnızca kısa süreli bir uzmanlık kursuna dayanmaz. Yangın sınıfı 2 sertifikasyonu için yapı mühendisliği alanında en az 180 AKTS'ye karşılık gelen bir eğitim ve son beş yıl içinde en az iki yıllık ilgili deneyim aranır. Yangın sınıfları 3–4 düzeyinde toplam en az 210 AKTS'lik eğitim öngörülmekte; bunun en az 60 AKTS'sinin binalarda yangından korunma ve performansa dayalı yangın güvenliği mühendisliğiyle ilişkili olması gerekmektedir. Bu seviye için son altı yıl içinde en az üç yıllık ilgili deneyim, üçüncü taraf kontrolörü için ise son on iki yıl içinde en az yedi yıllık deneyim aranır [1]. Altmış AKTS'lik yangın güvenliği bileşeni, yaklaşık 1.500–1.800 saatlik toplam öğrenci iş yüküne ve bir akademik yıllık tam zamanlı eğitime karşılık gelir. Bu nedenle Danimarka modelinde sertifikasyon; temel mühendislik eğitimi, önemli ölçüde yangın güvenliği uzmanlık eğitimi ve belgelenmiş proje deneyiminin birleşimi üzerine kuruludur. Eğitim ölçütünün AKTS ile ifade edilmesi, ders saatinden daha geniş bir öğrenme derinliğini ve sonuç odaklı bir yeterlilik yaklaşımını göstermektedir.

3.2. Yangın güvenliği dokümantasyonu

BR18 Bölüm 29'a göre yangın güvenliği dokümantasyonu, yapının yangın sınıfına karşılık gelen ayrıntı düzeyinde hazırlanmalı ve tasarım, projelendirme ve uygulamanın yönetmeliğin yangın güvenliği gereklerine uygun olduğunu göstermelidir. Yangın sınıfı 2–4 için başlıca belgeler; işe başlama ve tamamlama beyanları, yangın sınıfı gerekçesi, yangın strateji raporu, yangın ve kullanım planları, yangın boyutlandırma raporu, fonksiyon tanımları, kontrol planı, kontrol raporu ile işletme, kontrol ve bakım planıdır [1]. Bu belge seti, yangın güvenliğini yalnızca bir proje paftası veya ruhsat eki olarak değil, kararların dayanaklarını, hesapları, kontrolleri ve işletme şartlarını birbirine bağlayan bir bilgi bütünü olarak ele almaktadır. Özellikle işletme, kontrol ve bakım planının tamamlama beyanına bağlanması, tasarım aşamasında kabul edilen yangın güvenliği seviyesinin yapının kullanım ömrü boyunca korunmasını hedeflemektedir.

3.3. Hazırlayıcı, kontrolör ve üçüncü taraf kontrolörü rolleri

Sertifikalı yangın danışmanı BR18 kapsamında farklı roller üstlenebilir. Hazırlayıcı rolündeki danışman, yangın güvenliği dokümantasyonunun kendisine bırakılan bölümlerini hazırlar, inceler ve onaylar. Kontrolör rolündeki danışman; doğru yangın sınıfının seçildiğini, çözümlerin yönetmeliğin güvenlik gereklerini karşıladığını ve dokümantasyonun amacına uygun olduğunu doğrular. Yangın sınıfı 4 için üçüncü taraf kontrolörü, yüksek riskli veya karmaşık kısımları bağımsız olarak kontrol eder [1].

Tablo 2. BR18'de sertifikalı yangın danışmanının temel rolleri

Rol	Temel görev	Bağımsızlık / kontrol niteliği
Hazırlayıcı	Yangın stratejisi, hesaplar, planlar ve ilgili dokümantasyonun hazırlanması ve onaylanması	Proje üretimi içinde tanımlı sorumluluk
Kontrolör	Yangın sınıfının, seçilen çözümlerin ve dokümantasyonun mevzuata uygunluğunun doğrulanması	Hazırlanan belgeler üzerinde sistematik kontrol
Üçüncü taraf kontrolörü	Yangın sınıfı 4 kapsamındaki kritik dokümantasyon ve çözümlerin bağımsız incelemesi	Proje ekibinden ve hazırlayıcıdan ayrıştırılmış kontrol

3.4. Modelin güçlü yönleri

Danimarka modelinin ilk güçlü yönü, yetki seviyesini proje riskine bağlamasıdır. Her yapı için aynı düzeyde uzmanlık ve kontrol zorunluluğu getirmek yerine, yapı sınıfı yükseldikçe danışmanın yeterlilik düzeyi ve kontrol yoğunluğu artmaktadır. İkinci güçlü yön, yangın güvenliği dokümantasyonunun bütüncül ve izlenebilir bir süreç olarak ele alınmasıdır. Üçüncü güçlü yön ise sorumluluğun görev tanımlarıyla birlikte kişiselleştirilmesi ve bağımsız kontrol mekanizmasının yüksek riskli projelerde zorunlu hale getirilmesidir. Bununla birlikte modelin etkinliği, sertifikasyon sisteminin güvenilirliğine, sertifikalı uzman sayısının yeterliliğine, mesleki gelişimin sürdürülmesine ve idarelerin süreci doğru biçimde yönetmesine bağlıdır. Dolayısıyla yalnızca "sertifikalı uzman zorunluluğu" getirilmesi tek başına yeterli olmayıp sertifikasyonun kapsamı, gözetimi ve yenilenmesi de düzenlenmelidir.

4. TÜRKİYE'DE GELİŞEN YETKİLENDİRME VE DENETİM YAPISI

Türkiye'de yangın güvenliğinde uzman sorumluluğu tek bir düzenleme üzerinden değil, yapı yaşam döngüsünün farklı aşamalarını hedefleyen iki ayrı mevzuat ekseni üzerinden gelişmektedir. İlk eksen, belirli yapıların proje aşamasında bağımsız tasarım gözetimine tabi tutulmasıdır. İkinci eksen ise kullanımda olan yapıların periyodik yangın güvenliği kontrolü ve raporlanmasıdır. Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, tasarımdan işletmeye uzanan bir kontrol zincirinin temellerinin oluştuğu görülmektedir.

4.1. Proje aşamasında yangın tasarım gözetmenliği

28.09.2022 tarihli Özel Binalar Tasarım Gözetmenliği Yönetmeliği, özel uzmanlık gerektiren belirli projelerde Bakanlıkça belgelendirilmiş tasarım gözetmenlerinin görevlendirilmesini öngörmektedir [4]. Yönetmelik; gözetmenin başvuru ve sicil koşullarını, bağımsızlık ve etik yükümlülüklerini, hizmet sözleşmesini, raporlama sürecini, denetimini ve yaptırımları düzenlemektedir. Tasarım gözetimi, proje müellifliğinin yerine geçen bir faaliyet değil, proje ve hesapların mevzuata ve iyi uygulama kurallarına uygunluğunu bağımsız biçimde değerlendiren ayrı bir kontrol hizmetidir.

Tasarım gözetmenliği belgesine başvuruda, meslekte fiilen en az beş yıl çalışma şartı aranmakta; adaylar eğitim, mesleki deneyim, tamamlanmış ve ilgili idarece onaylanmış proje deneyimi, akademik unvan ve mesleki yetkinlik belgeleri üzerinden puanlanmaktadır. Belgeye hak kazanabilmek için toplam en az 60 puan alınması gerekmekte; proje deneyiminin uzmanlık alanıyla doğrudan ilişkili ve belgelenebilir olması beklenmektedir. Yangın güvenliği alanında başvuru, ilgili projelerde müelliflik yapabilen meslek mensuplarına açık tutulmuş; NFPA-CFPS benzeri uluslararası kabul gören sertifikaların Komisyon tarafından değerlendirilmesi öngörülmüştür [4].

Belge beş yıl süreyle geçerlidir. Gözetmenin üstlendiği işler, hazırladığı raporlar, imzaladığı proje ve hesaplar Bakanlık siciline kaydedilir; belge yenileme, performans değerlendirmesi, denetim ve yaptırım mekanizmalarıyla desteklenir. Gözetmen, görevi süresince proje müellifi, danışman, uygulayıcı veya malzeme satıcısı olarak aynı işte yer alamaz; görevi bizzat yürütmek, çıkar çatışmasından kaçınmak ve teknik değerlendirmelerini uzmanlık sınırları içinde yapmakla yükümlüdür. Bu kriterler, sistemin yalnızca bir başvuru belgesinden değil, deneyim, bağımsızlık, izlenebilirlik ve mesleki sorumluluk bileşenlerinden oluştuğunu göstermektedir [4].

Yönetmeliğin yangın güvenliğine ilişkin Y-1 bölümünde; yüksek tehlikeli kullanım alanı 30.000 m²'yi geçen yapılar, yapı yüksekliği 51,50 m'yi veya yapı inşaat alanı 50.000 m²'yi geçen konut dışı yapılar ve yapı yüksekliği 51,50 m'yi geçen konut yapıları için yangın tahliye, algılama ve söndürme projelerinin tasarım

gözetimi ve kontrolü öngörülmektedir [4]. Kontrolün, tahliye, algılama veya söndürme ile malzeme konularından en az birinde uzman yeterli sayıda gözetmenden oluşan bir heyet tarafından yürütülmesi düzenlenmiştir.

Gözetim kapsamı avan proje, kesin proje ve uygulama projesi aşamalarına yayılmaktadır. Yangın tehlike analizi, kaçış yolları, acil çıkışlar, algılama ve uyarı, söndürme, duman kontrolü, basınçlandırma, pasif yangın güvenliği, sistemler arası uyum, hesap raporları, modellemeler ve ürün belgeleri kontrol kapsamına alınmıştır. Böylece yalnızca nihai paftaların biçimsel kontrolü yerine, tasarım kararlarının farklı aşamalarda izlenmesi ve kayıt altına alınması amaçlanmaktadır [4]. Bununla birlikte yangın güvenliğine ilişkin bazı hükümlerin yürürlük tarihleri 1 Ocak 2027 ve 1 Ocak 2028 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle model mevzuatta tanımlanmış olsa da bildiri tarihi itibarıyla yangın güvenliği bakımından tüm unsurlarıyla aktif uygulamaya geçmiş değildir [4].

4.2. Mevcut yapılarda periyodik yangın güvenliği kontrolü

Bu metnin hazırlandığı tarihte taslak olarak kamuoyu ile paylaşılan Yangın Güvenlik Uzmanlığı ve Periyodik Kontrol Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, yalnızca bir periyodik kontrol formu oluşturmakla kalmamakta; uzman seviyeleri, kabul şartları, eğitim ve sınav, yetki belgesi, etik ve bağımsızlık, eğitici kuruluşlar, Bakanlık Komisyonu, mahalli itfaiye teşkilatı ile hizmet alımı, periyodik kontrol, uygunluk kontrolü, tatbikat ve yaptırım süreçlerini kapsayan kurumsal bir model önermektedir [5]. Taslak henüz yürürlükte bir düzenleme olmadığından, aşağıdaki değerlendirmeler önerilen sistemin içeriğini açıklamaktadır.

4.2.1. Uzmanlık seviyeleri, eğitim ve yetkilendirme

Taslakta yangın güvenlik uzmanlığı YGU-1, YGU-2, YGU-3 ve YGU-K olmak üzere dört seviyede düzenlenmiştir. YGU-1 teknikerlik ve itfaiyecilik ön lisans altyapısına, YGU-2 belirlenen mimarlık ve mühendislik disiplinlerine, YGU-3 ise YGU-2 belgesine ek olarak farklı kullanım sınıflarında rapor deneyimine dayanmaktadır. YGU-K, yüksek tehlikeli yapı ve yerlerde tehlikeli maddelerin tespiti ve sınıflandırılması için kimya alanındaki uzmanlığı temsil etmektedir [5].

Teorik ve uygulamalı eğitim, en az %90 devam, merkezi sınavda 100 üzerinden en az 70 puan, beş yıllık belge geçerliliği ve gerektiğinde güncelleme eğitimi öngörülmektedir. EK-2'de YGU-1 için 65, YGU-2 için 85, YGU-3 için 40 ve YGU-K için 35 saatlik asgari eğitim tanımlanmıştır [5,6]. Uygulama eğitimi, farklı kullanım sınıfındaki iki yapıya ilişkin yangın güvenlik raporu düzenlenmesi ve uygulama gözetimi faaliyetlerini içerir. Bununla birlikte bu süreler, taslakta toplam öğrenci iş yükü veya AKTS olarak değil, doğrudan eğitim saati şeklinde verildiğinden SFPE ve Danimarka verileriyle bire bir eşdeğer kabul edilemez.

Karşılaştırma, eğitim derinliğinde önemli bir ölçek farkına işaret etmektedir. SFPE'nin yalnızca temel yangın mühendisliği bilgi alanları için önerdiği iş yükü yaklaşık 1.760–2.370 saat, Danimarka'nın yangın sınıfları 3–4 danışmanları için istediği yangın güvenliği odaklı eğitim ise en az 60 AKTS, yani yaklaşık 1.500–1.800 saat düzeyindedir. Türkiye taslağındaki 35–85 saatlik eğitimler ise daha çok mevcut bir mesleki eğitimin üzerine eklenen mevzuat, kontrol ve raporlama odaklı yetkilendirme eğitimi niteliğindedir. Bu nedenle YGU belgesinin kapsamı, tam bir yangın mühendisliği uzmanlığıyla eş tutulmamalı; her yetki seviyesinin yapabileceği teknik analiz, tasarım kontrolü ve performansa dayalı değerlendirmeler açık biçimde sınırlandırılmalıdır.

Tablo 3. Taslak düzenlemede YGU seviyeleri ve temel kapsamları [5,6].

Seviye	Mesleki altyapı / ilerleme	Başlıca görev ve risk kapsamı	Asgari eğitim
YGU-1	Teknikerlik veya itfaiyecilik ön lisans	EK-1'de izin verilen düşük riskli ve daha küçük yapılarda periyodik kontrol	65 saat
YGU-2	Belirlenen mimarlık ve mühendislik disiplinleri	Ruhsat ve kullanım izni görüşüne esas raporlar; orta ve yüksek kapsamlı periyodik kontroller	85 saat
YGU-3	YGU-2 + farklı kullanım sınıflarında doğrulanmış rapor deneyimi	Yüksek riskli/karmaşık yapılar, uluslararası standartlara göre tasarlanan yapılar	40 saat
YGU-K	Kimya mühendisliği veya kimya lisansı	Yüksek tehlikeli yapı ve yerlerde tehlikeli maddelerin tespiti ve sınıflandırılması; YGU-3 ile ortak kontrol	35 saat

4.2.2. Risk esaslı kontrol periyotları ve görevlendirme

EK-1, periyodik kontrol sıklığını kullanım sınıfı, büyüklük ve tehlike düzeyiyle ilişkilendirmektedir. Düşük riskli veya daha küçük yapılar için beş yıl, daha büyük veya orta tehlikeli yapılar için dört yıl, yüksek tehlikeli endüstriyel ve depolama tesisleri ile yüksek tehlikeli yerler için üç yıl öngörülmektedir. Karma kullanımlı yapılarda daha kısa periyot uygulanmakta; yüksek tehlikeli yapı ve yerlerin kontrolü YGU-3 ile YGU-K tarafından birlikte gerçekleştirilmektedir [6]. Bu yaklaşım, BR18'deki yangın sınıfına bağlı kontrol yoğunluğuna benzer şekilde, kontrol kaynağının riskle orantılı dağıtılmasını amaçlamaktadır. Mahalli itfaiye teşkilatı tüm yapılarda kontrol ve uygunluk görüşü verme yetkisini korumaktadır. Personel yeterliliği, iş yoğunluğu veya uzmanlık ihtiyacı halinde, itfaiye ile YGU arasında protokol kurularak uygunluk görüşü, periyodik kontrol ve tatbikat planlama hizmeti alınabilmektedir [5,8]. Eğitici kuruluşların Bakanlıkla protokolü, teorik eğitim programı ve eğitici yeterliliklerinin denetimi ise ayrı bir kalite güvence katmanı olarak tasarlanmıştır [9].

4.2.3. Periyodik kontrolün aşamaları ve teknik kapsamı

Periyodik kontrol başvurusu, geçerli rapor süresinin bitiminden en geç 60 gün önce yönetici veya yapı sahibi tarafından EK-5/A başvuru formu, EK-5/B taahhütname ve ödeme belgesiyle yapılmaktadır [5,10]. Taslak süreç; hazırlık, yerinde kontrol ve raporlama olmak üzere üç aşamaya ayrılmıştır. Hazırlıkta yapı belgeleri, onaylı projeler, izinler ve önceki raporlar temin edilir; yerinde kontrolde EK-6 formu, muayene kayıtları, fotoğraflar ve kanıt belgeleri kullanılır; raporlama aşamasında EK-7 Yangın Güvenlik Raporu düzenlenir [5,11,12].

EK-6 kontrol formu, ölçüm yapılmaksızın onaylı projelere göre gözlemsel inceleme ve güncel periyodik muayene kayıtlarının değerlendirilmesini esas almaktadır. Ön şartlar sağlanmadığında kontrol yapılmadan ilgili idareye bildirim öngörülmektedir. Kontrol; mimari ve tahliye düzenlemeleri, yangın kompartımanları ve kapıları, kaçış yolları, aktif söndürme ve duman kontrol sistemleri, elektrik tesisatı, algılama ve uyarı, acil durum aydınlatması, asansörler, tehlikeli maddeler ile bakım ve test kayıtlarını kapsamaktadır. "Uygun değil" değerlendirmelerinin mevzuat dayanağı, ayrıntılı gerekçesi ve mümkünse fotoğrafla belgelenmesi zorunlu tutulmuştur [6].

4.2.4. Rapor, uygunluk kontrolü ve işletme sorumluluğu

Yangın Güvenlik Raporu, kontrolü yapan kişinin kimliğini ve YGU seviyesini, rapor sonucunu, düzenlenme ve son geçerlilik tarihlerini ve EK-6'da tespit edilen uygunsuzlukları içermektedir [6]. Uygunsuzluk bulunması halinde ilgili idarece giderme süresi verilmesi; tamamlanan düzeltmeler için EK-5/C ile uygunluk kontrolü başvurusu yapılması öngörülmektedir [5,10]. Böylece kontrol, tek seferlik bir tespit yerine düzeltme ve doğrulama ile kapanan bir idari döngüye dönüştürülmektedir.

Taslak ayrıca yıllık yangın tatbikatlarının mahalli itfaiye teşkilatı veya YGU ile planlanmasını; tatbikat öncesinde güncel yangın güvenlik raporu, kaçış yolları, acil durum sistemleri ve ekiplerin hazır olmasının kontrol edilmesini; tahliye süresi ve sistem davranışlarının tatbikat sonrasında raporlanmasını öngörmektedir [6]. Proje veya uygulama hakkında itfaiyeye sunulacak teknik değerlendirmeler için YGU seviyesi belirtilen standart bir uygunluk görüş raporu da oluşturulmuştur [6]. Bu belgeler, periyodik kontrolün yalnızca fiziksel sistemlere değil, işletme hazırlığına ve tahliye organizasyonuna da bağlandığını göstermektedir.

4.3. İki mekanizmanın birlikte değerlendirilmesi

Tasarım gözetmenliği ile YGU ve periyodik kontrol sistemi aynı görevi yerine getiren alternatif yapılar değildir. Tasarım gözetmenliği, kapsamındaki özellikli yapıların yangın güvenliği kararlarının avan, kesin ve uygulama projesi aşamalarında bağımsız olarak incelenmesine ve doğrulanmasına odaklanmaktadır. Yangın Güvenlik Uzmanlığı modeli ise mahalli itfaiye teşkilatının gerekli görmesi hâlinde yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin süreçlerinde uygunluk görüşüne esas teknik rapor hazırlanması, kullanımda olan yapıların periyodik kontrolü, tespit edilen uygunsuzlukların takibi ve yangın tatbikatlarının planlanması gibi görevleri kapsamaktadır.

Bu bakımdan tasarım gözetmenliği ağırlıklı olarak tasarım ve projelendirme aşamasında, YGU modeli ise proje değerlendirmesine destek olmakla birlikte ağırlıklı olarak uygulamanın doğrulanması, kullanıma alma ve işletme aşamalarında işlev görmektedir. İki mekanizmanın birbiriyle ilişkilendirilmesi hâlinde; tasarım, yapım, devreye alma, kullanım, bakım, periyodik kontrol ve tatbikat süreçleri arasında süreklilik sağlayabilecek yaşam döngüsü temelli bir yangın güvenliği kontrol zinciri oluşturulabilir. Taslak YGU düzenlemesi, birçok unsuru somutlaştırmaktadır: kademeli yetki seviyeleri, eğitim müfredatı, uygulama eğitimi, sınav, beş yıllık belge, etik ve çıkar çatışması hükümleri, Bakanlık Komisyonu, itfaiye ile protokol, risk esaslı kontrol periyotları, standart kontrol formu, delil ve fotoğraf zorunluluğu, uygunluk takibi ve yaptırımlar. Bununla birlikte nihai düzenlemede bazı konuların daha ayrıntılı belirlenmesi sistemin güvenilirliğini artıracaktır. Özellikle YGU-3 seviyesine geçişte aranan rapor deneyiminin yalnızca sayısı değil, yapı türü, teknik kapsamı, karmaşıklığı ve uzmanın üstlendiği sorumluluk düzeyi bakımından da değerlendirilmesi önemlidir. Ayrıca raporların teknik kalite denetimi, yerinde gözlemsel inceleme ile ölçüm ve fonksiyon testleri arasındaki sınır, sistem testlerine hangi disiplinlerin katılacağı, mesleki sorumluluk sigortası ve tasarım gözetmenliği kayıtlarının yapı kullanma izni ile periyodik kontrol dosyasına aktarılması açık biçimde düzenlenmelidir.

Danimarka BR18 sisteminin Türkiye açısından temel öğretisi, sertifikalı uzmanın yalnızca proje dokümanını inceleyen bir kişi olarak görülmemesidir. BR18; yangın sınıfının belirlenmesi, yangın güvenliği stratejisinin ve teknik dokümantasyonun hazırlanması, kontrol planlarının oluşturulması, tasarımın incelenmesi, yapım sürecindeki uygulamaların kontrolü, tamamlama beyanları ve kullanım dönemine ilişkin işletme, kontrol ve bakım şartlarını aynı sistem içinde ilişkilendirmektedir. Risk sınıfı, uzman rolü, dokümantasyon standardı, bağımsız doğrulama ve yapı yaşam döngüsündeki sorumluluklar birbirini tamamlayan unsurlar olarak ele alınmaktadır.

Türkiye'deki tasarım gözetmenliği ve YGU düzenlemeleri, bu bütünleşik yapının önemli bileşenlerini ayrı mekanizmalar içinde oluşturmaktadır. Ortak bir dijital yapı dosyası üzerinden tasarım gözetimi raporlarının, onaylı yangın projelerinin, uygulama ve devreye alma belgelerinin, yapı kullanma izni görüşlerinin, periyodik kontrol raporlarının, bakım kayıtlarının ve tatbikat sonuçlarının ilişkilendirilmesi sürekliliği ve izlenebilirliği güçlendirecektir. Uzman, yapı ve raporlar için benzersiz kayıt numaralarının kullanılması, yapıdaki yangın güvenliği kararlarının tasarımdan kullanım ömrünün sonuna kadar takip edilmesine imkân sağlayacaktır.

5. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Danimarka modeli, yangın sınıflarına bağlı sertifikasyon sistemi, rol ayrımı, akademik eğitim ve deneyim şartları, standartlaştırılmış dokümantasyon, kontrol planları ve yüksek riskli yapılarda bağımsız üçüncü taraf kontrolüyle yapı yaşam döngüsünü kapsayan bütünleşik bir kalite güvence sistemi sunmaktadır. Sertifikalı yangın danışmanının sorumluluğu yalnızca tasarım dokümanlarının hazırlanması veya incelenmesiyle sınırlı değildir. Danışman; proje sınıflandırması, yangın güvenliği stratejisi, teknik dokümantasyon, uygulama kontrolleri, tamamlanma süreci ve işletme şartlarına ilişkin belgelerin birbirleriyle uyumlu olmasında görev almaktadır.

Türkiye'de tasarım gözetmenliği sistemi; belirli büyüklük ve karmaşıklıktaki yapıların yangın algılama, söndürme, tahliye, duman kontrolü ve diğer yangın güvenliği projelerinin bağımsız olarak incelenmesine yönelik önemli bir kurumsal çerçeve oluşturmaktadır. En az beş yıllık mesleki deneyim, puanlama sistemi, asgari puan şartı, beş yıllık belge süresi, sicil kaydı, etik ilkeler ve bağımsızlık hükümleri, proje aşamasında uzman sorumluluğunun tanımlanması bakımından önemli araçlardır.

YGU ve periyodik kontrol taslağı ise yalnızca mevcut yapıların kontrolüyle sınırlı değildir. Taslak, gerekli görülmesi hâlinde ruhsat aşamasındaki yangın projelerinin ve yapı kullanma izin aşamasındaki uygulamaların değerlendirilmesine ilişkin raporlama görevleri de tanımlamaktadır. Bununla birlikte modelin ağırlık merkezi, tamamlanmış ve kullanımda olan yapılarda yangın güvenliği tedbirlerinin sürdürülebilirliğinin periyodik olarak kontrol edilmesi, eksikliklerin raporlanması, giderilme sürecinin izlenmesi ve yangın tatbikatlarının değerlendirilmesidir.

Danimarka'da uzmanlık seviyeleri, yapıların yangın sınıflarıyla ilişkilendirilmiş akademik eğitim ve nitelikli uygulama deneyimi üzerinden belirlenmektedir. Özellikle yangın sınıfları 3 ve 4 kapsamında görev alacak danışmanlar için toplam 210 AKTS eğitim ve bunun en az 60 AKTS'sinin binalarda yangından korunma ve performansa dayalı yangın güvenliği mühendisliğiyle ilgili olması öngörülmektedir. Bir AKTS'nin yaklaşık 25–30 saatlik toplam öğrenci iş yüküne karşılık geldiği dikkate alındığında, 60 AKTS yaklaşık 1.500–1.800 saatlik ve bir akademik yıla karşılık gelen yoğun bir yangın güvenliği eğitimi anlamına gelmektedir.

Türkiye'de YGU seviyeleri için belirlenen 35–85 saatlik teorik eğitimler ise nitelik ve amaç bakımından bu akademik eğitim yükünden farklıdır. Bu süreler, mevcut teknik veya mesleki eğitimin üzerine eklenen; mevzuatın yorumlanması, kontrol yöntemleri, raporlama, etik, yangın sistemlerinin gözlemsel değerlendirilmesi ve idari süreçlerin yürütülmesine yönelik yetkilendirme eğitimleridir. Bu nedenle Türkiye'deki YGU eğitimi ile Danimarka'daki AKTS temelli yangın güvenliği eğitiminin yalnızca saat değerleri üzerinden doğrudan eşdeğer kabul edilmesi doğru değildir.

SFPE'nin asgari teknik yetkinlik yaklaşımı bu değerlendirme için bağımsız bir mesleki referans sağlamaktadır. SFPE, yangın mühendisliği yetkinliğini; yangın bilimi, insan davranışı ve tahliye, yangın koruma sistemleri ve yangın koruma analizi olmak üzere dört temel alanda yapılandırılmış eğitim ve uygulamalı deneyimin birleşimi olarak ele almaktadır. SFPE'nin bilgi alanları için önerdiği öğrenme süreleri, kısa süreli mevzuat veya sertifika eğitimlerinin tek başına yangın mühendisliği yetkinliği kazandırmayacağını göstermektedir. Dolayısıyla yetkilendirme sistemlerinde mevzuat bilgisi ve belge şartlarının yanında teknik öğrenme derinliği, uygulama deneyiminin niteliği, mühendislik muhakemesi ve kişinin yetkinlik sınırları da değerlendirilmelidir.

5.2. Türkiye için önerilen sistem bileşenleri

Türkiye'de gelişen tasarım gözetmenliği ile YGU ve periyodik kontrol mekanizmalarının ortak bir mesleki ve dijital çerçevede ilişkilendirilmesi, yalnızca belirli aşamalarda belge düzenleyen bir sistem yerine yapı yaşam döngüsünün tamamında süreklilik sağlayan bir model kurulması açısından önemlidir. Etkin bir sistemin aşağıdaki bileşenleri birlikte içermesi önerilmektedir:

- **Temel teknik yeterlilik:** Mühendislik veya ilgili teknik eğitim altyapısına ilave olarak yangın bilimi, insan davranışı ve tahliye, aktif ve pasif yangın koruma sistemleri ile yangın güvenliği analizi alanlarında ortak çekirdek bilgi.
- **Kademeli yetkilendirme:** Yapının kullanım amacı, tehlike düzeyi, büyüklüğü, karmaşıklığı ve tasarım yöntemine göre farklı uzmanlık ve sorumluluk seviyeleri.
- **Nitelikli uygulama deneyimi:** Yalnızca çalışma yılına veya rapor sayısına değil; proje çeşitliliğine, teknik karmaşıklığa, üstlenilen sorumluluğa ve deneyimli uzman gözetimindeki uygulamalara dayalı deneyim değerlendirmesi.
- **Yapılandırılmış eğitim:** YGU eğitimlerinin amacı ile tam kapsamlı yangın güvenliği mühendisliği eğitiminin birbirinden ayrılması; tasarım ve ileri analiz görevleri için gerekli teknik öğrenme yükünün ayrıca tanımlanması.
- **Sınav ve yeterlilik değerlendirmesi:** Yalnızca mevzuat bilgisini değil; teknik problem çözme, mühendislik muhakemesi, proje okuma, uygunsuzluk değerlendirme ve raporlama becerisini ölçen yöntemler.
- **Görev ve yetkinlik sınırları:** Uzmanın yalnızca yetkilendirildiği ve teknik olarak yetkin olduğu alanlarda görev alması; farklı disiplinleri gerektiren yapılarda uzman heyeti oluşturulması.
- **Bağımsızlık ve rol ayrımı:** Tasarımı hazırlayan, tasarımı kontrol eden, uygulamayı doğrulayan ve bağımsız üçüncü taraf kontrolünü yapan rollerin, yapının risk ve karmaşıklığına göre ayrıştırılması.
- **Yapım ve devreye alma kontrolü:** Onaylı yangın güvenliği kararlarının yapım sırasında uygulanıp uygulanmadığının kontrol planlarıyla doğrulanması; fonksiyon ve entegrasyon testlerinin sorumlularının tanımlanması.
- **Sürekli mesleki gelişim:** Belge yenileme dönemlerinde güncel eğitim, mesleki faaliyet, rapor kalitesi ve etik uygunluğun birlikte değerlendirilmesi.
- **Mesleki sorumluluk:** Uzmanın sorumluluk sınırlarının ve mesleki sorumluluk sigortasına ilişkin gerekliliklerin açık biçimde belirlenmesi.

Avrupa'da yangın güvenliği mühendisliğinin daha yaygın ve güvenilir biçimde uygulanmasının; eğitim olanakları, yeterlilik çerçeveleri, teknik standartlar ve yangın tasarımından sorumluluk alacak profesyonelin rolünün birlikte tanımlanmasıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Türkiye'de kurulacak sistemin de uluslararası yaklaşımlardan yararlanırken ülkenin eğitim altyapısı, meslek mevzuatı, idari kapasitesi, yerel itfaiye teşkilatlarının imkânları ve mevcut yapı stokunun özellikleri dikkate alınarak geliştirilmesi gerekmektedir.

6. SONUÇ

Yangın güvenliğinde yetkilendirilmiş uzman modeli, teknik mevzuatın uygulamadaki etkinliğini, denetim kalitesini ve sorumlulukların izlenebilirliğini artırabilecek temel yönetişim araçlarından biridir. Danimarka örneği; risk ve karmaşıklığa bağlı yangın sınıfları, kademeli sertifikasyon, tanımlı uzman rolleri, yüksek akademik eğitim ve deneyim şartları, standartlaştırılmış dokümantasyon, yapım süreci kontrolleri ve bağımsız üçüncü taraf doğrulamasıyla bütünleşik bir sistem sunmaktadır. BR18 kapsamında yangın güvenliği yalnızca proje onayı olarak değil; tasarım, yapım, tamamlama, kullanıma alma ve işletme süreçleri boyunca sürdürülen bir kalite güvence faaliyeti olarak ele alınmaktadır.

Türkiye'de ise benzer işlevler iki ayrı düzenleme ekseninde gelişmektedir. Tasarım gözetmenliği düzenlemesi; özellikli yapıların yangın güvenliği projelerinin bağımsız olarak değerlendirilmesi, gözetmenlerin mesleki deneyim ve puanlama esaslarıyla yetkilendirilmesi, bağımsızlık, sicil ve yaptırım hükümleri bakımından proje aşamasında önemli bir başlangıç oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu modelin uygulama, devreye alma ve tamamlanma süreçleriyle bağlantısının daha ayrıntılı kurulması gerekmektedir. Yangın Güvenlik Uzmanlığı ve Periyodik Kontrol Taslağı ise dört uzmanlık seviyesi, mesleki kabul şartları, teorik ve uygulamalı eğitim, sınav, süreli yetki belgesi, etik kurallar, risk esaslı kontrol periyotları, standart kontrol ve raporlama belgeleri, uygunluk takibi ve tatbikat süreçleriyle kapsamlı bir işletme dönemi kontrol modeli ortaya koymaktadır. Taslakta ayrıca gerekli görülmesi hâlinde yangın projelerinin ruhsat aşamasında ve uygulamaların yapı kullanma izni aşamasında değerlendirilmesine yönelik görevler bulunması, YGU modelinin tasarım ile kullanım dönemi arasında bir bağlantı kurma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte Türkiye'deki iki mekanizmanın mevcut hâliyle BR18'deki kadar bütünleşik bir yapı oluşturduğu söylenemez. Tasarım gözetimi sırasında üretilen kararların, uygulama kontrollerinin, sistem testlerinin, yapı kullanma izni belgelerinin ve periyodik kontrol sonuçlarının aynı veri ve sorumluluk zinciri içerisinde takip edilmesi gerekmektedir. Tasarım gözetmeni tarafından oluşturulan kontrol kayıtlarının yapının kullanım aşamasındaki YGU ve periyodik kontrol dosyasına aktarılması; periyodik kontrollerde belirlenen tekrarlayan veya sistematik sorunların ise tasarım gözetimi ölçütlerine geri beslenmesi önerilmektedir. Bu ilişki kurulduğunda yangın güvenliği, proje aşamasında başlayıp ruhsat veya kullanım izniyle sona eren tek yönlü bir süreç olmaktan çıkarak; tasarım, yapım, devreye alma, işletme, bakım, tatbikat ve yeniden değerlendirme aşamalarını kapsayan sürekli ve izlenebilir bir döngüye dönüşebilir.

SFPE'nin asgari teknik yetkinlik çerçevesi, bu sistem içinde görev alacak profesyonellerin teknik bilgi alanlarının belirlenmesi bakımından önemli bir referanstır. Ancak kısa süreli yetkilendirme eğitimleri ile kapsamlı yangın güvenliği mühendisliği eğitiminin amaç ve derinlik bakımından ayrılması gerekir. Danimarka'daki AKTS temelli eğitim şartları ve SFPE'nin önerdiği öğrenme yükleri, ileri seviye tasarım, performansa dayalı değerlendirme ve bağımsız kontrol görevlerinin kapsamlı eğitim ile nitelikli uygulama deneyimi gerektirdiğini göstermektedir.

Sonuç olarak Türkiye'de tasarım gözetmenliği ile YGU ve periyodik kontrol sistemlerinin ortak bir yetkinlik çerçevesi, dijital yapı dosyası, rol ayrımı, yapım ve devreye alma kontrolü ile kalite güvence mekanizmaları üzerinden bütünleştirilmesi önerilmektedir. Bu yaklaşımın SFPE teknik yetkinlik alanları ve Avrupa'daki yeterlilik çalışmalarıyla desteklenmesi, ulusal sistemin teknik güvenilirliğini, kurumsal sürdürülebilirliğini ve uluslararası karşılaştırılabilirliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

[1] DANISH MINISTRY OF TRANSPORT, BUILDING AND HOUSING, "Executive Order on Building Regulations 2018 (BR18)" ve "Executive Order on the Certification Scheme for Documentation of Technical Matters in Building Regulations", yangın sınıfları, sertifikalı yangın danışmanları ve yetkinlik koşulları, 2018 ve sonraki değişiklikler.

[2] SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, "Recommended Minimum Technical Core Competencies for the Practice of Fire Protection Engineering", SFPE, 2018.

[3] SCIARRETTA, F., ATHANASOPOULOU, A., POLO LÓPEZ, C. S., TSIONIS, G. ve diğerleri, "Prospects for Implementation of Fire Safety Engineering Approach in Europe", Publications Office of the European Union, JRC143347, 2025.

[4] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Özel Binalar Tasarım Gözetmenliği Yönetmeliği ve Ekleri", Resmî Gazete, Sayı 31967, 28 Eylül 2022; ilgili değişiklikler, 2023–2024.

[5] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Yangın Güvenlik Uzmanlığı ve Periyodik Kontrol Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik Taslağı", taslak çalışma, 2026.

[6] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Yangın Güvenlik Uzmanlığı ve Periyodik Kontrol Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik Taslağı Ekleri (EK-1–EK-9)", periyodik kontrol süreleri ve YGU seviyeleri, eğitim müfredatı, protokoller, başvuru ve taahhütname formları, periyodik kontrol formu, yangın güvenlik raporu, tatbikat formları ve uygunluk görüş raporu, taslak çalışma, 2026.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Salih KORKMAZ

Yangın güvenliği alanında çalışmalar yürüten Mustafa Salih Korkmaz, lisans eğitimini Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. İstanbul Üniversitesi'nde İşletme ve Sakarya Üniversitesi Yangın ve Yangın Güvenliği Yüksek Lisans Programı'nı tamamlamıştır. Meslek hayatı boyunca yangın güvenliği mühendisliği, yangın risk analizi, aktif ve pasif yangın koruma sistemleri, tünel yangın güvenliği, teknik kontrol ve uygunluk değerlendirmesi alanlarında çok sayıda ulusal ve uluslararası çalışmada görev almıştır. Halen Efectis Era Avrasya Test ve Belgelendirme A.Ş. bünyesinde Mühendislik ve Kontrol Müdürü olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda SFPE Türkiye Chapter Başkanı olarak yangın mühendisliği disiplininin Türkiye'de gelişmesi, mesleki bilgi paylaşımının artırılması ve uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesine yönelik faaliyetlerde bulunmaktadır.

BİNA YANGIN GÜVENLİĞİ DENETİMİNDE ABD VE TÜRKİYE MEVZUATININ KARŞILAŞTIRILMASI: RİSK ESASLI BİR MODEL ÖNERİSİ

Ayşe ÜTÜK
Leyla Müjde KURT

ÖZET
Binalarda yangın güvenliği, yalnızca tasarım ve inşaat aşamasıyla sınırlı kalmayıp, yapının kullanım ömrü boyunca sürdürülebilir bir denetim mekanizmasına tabi tutulmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Türk hukukundaki "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" (BYKHY) çerçevesindeki denetim eksiklikleri, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) federal ve yerel (New York, Chicago, Seattle) uygulamalarla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

ABD sisteminde, yetki karmaşasını önleyen "Authority Having Jurisdiction" kavramı, teknolojik altyapının denetimini sağlayan "Karma Denetim Modeli" ve akredite özel hukuk kişilerinin sürece dahil edildiği "Üçüncü Taraf Denetimi" mekanizmaları incelenmiştir. Türk mevzuatında tespit edilen iskân sonrası proaktif denetim takviminin bulunmaması, eksikliklerin giderilmesi için standartlaştırılmış "İyileştirme Süreleri"in yokluğu ve kurumlar arası yetki çatışmaları gibi temel sorunlar, ABD'deki risk esaslı kategorizasyon (Kritik, Önemli, Tali ihlal) ve dijital raporlama sistemleri üzerinden tartışılmıştır.

Çalışma kapsamında, Türkiye'deki denetim boşluklarını gidermek adına; sistem arızalarında devreye giren "Yangın Nöbeti" mekanizması, kademeli yaptırım cetvelleri ve standartlaştırılmış denetim formlarının mevzuata entegrasyonuna yönelik somut çözüm önerileri sunulmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Yangın güvenliği denetimi, Mevzuat, AHJ, Risk yönetimi

ABSTRACT
Fire safety in buildings is not limited to the design and construction phases; it requires the building to be subject to a sustainable inspection mechanism throughout its service life. This study comparatively analyses the inspection deficiencies within the framework of the Turkish "Regulation on Fire Protection of Buildings" (BYKHY) against the federal and local (New York, Chicago, Seattle) practices in the United States (US).

In the US system, the "Authority Having Jurisdiction" concept that prevents jurisdictional conflicts, the "Hybrid Inspection Model" ensuring the inspection of technical infrastructure, and the "Third-Party Inspection" mechanism involving accredited private-law persons are examined. Fundamental problems identified in Turkish legislation — the absence of a proactive post-occupancy inspection schedule, the lack of standardised "cure periods" for remedying deficiencies, and inter-agency jurisdictional conflicts — are discussed through the US risk-based categorisation (Critical, Significant, Minor violations) and digital reporting systems.

Within the scope of the study, concrete solutions are proposed for integrating into Turkish legislation the "Fire Watch" mechanism activated in case of system failures, graduated sanction schedules, and standardised inspection forms, in order to remedy the inspection gaps in Türkiye.

Keywords: Fire safety inspection, Legislation, AHJ, Risk management

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHJ	Authority Having Jurisdiction (Yetkili Merci)
BACP	Department of Business Affairs and Consumer Protection
BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
CFD	Chicago Fire Department
C of O	Certificate of Occupancy (Yapı Kullanma İzni)
DCWP	Department of Consumer and Worker Protection
DOB	Department of Buildings
FDNY	Fire Department of the City of New York
GSA	General Services Administration
ICC	International Code Council
ITM	Inspection, Testing, and Maintenance
NFPA	National Fire Protection Association
NICET	National Institute for Certification in Engineering Technologies
NRC	U.S. Nuclear Regulatory Commission
NYC	New York City
OATH	New York City Office of Administrative Trials and Hearings
OSHA	ABD Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi
SDCI	Seattle Department of Construction and Inspections
TCO	Temporary Certificate of Occupancy
USFA	United States Fire Administration

GİRİŞ

Binalarda yangın güvenliği, yalnızca yapının tasarlandığı ve inşa edildiği ana ait bir mesele değil; yapının tüm kullanım ömrü boyunca süren, dinamik ve sürdürülebilir bir denetim sürecidir. Yangın anında can ve mal güvenliğini sağlayan aktif ve pasif koruma sistemlerinin (sprinkler, algılama, tahliye) yalnızca kurulmuş olması yeterli olmayıp, bu sistemlerin yıllar boyunca faal, bakımlı ve mevzuata uygun tutulup tutulmadığının kamu adına sürekli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

Türk hukukunda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), yangın güvenlik sistemlerinin kurulmasını ve periyodik bakımlarını zorunlu kılmakla birlikte; yapı kullanma izni (iskân) alındıktan sonra bu standartların korunup korunmadığını kamu adına denetleyecek sistematik, zorunlu ve proaktif bir mekanizmayı açıkça düzenlememiştir. Bu durum; eksikliklerin giderilmesi için verilecek sürelerde, uygulanacak yaptırımlarda, denetim raporlarının standardında ve kurumlar arası yetki paylaşımında önemli belirsizlikler doğurmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu eksiklikleri karşılaştırmalı hukuk yöntemiyle ele almakta; Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) hem federal düzeydeki düzenlemelerini hem de New York, Chicago ve Seattle gibi büyük şehirlerin yerel yangın kodlarını inceleyerek, Türk hukukundaki boşlukların muadillerinin bu sistemlerde nasıl çözüldüğünü ortaya koymaktadır. ABD'nin, kod ve standartları uzlaşmacı bir süreçle ve NFPA gibi kar amacı gütmeyen kuruluşlar aracılığıyla geliştiren özgün yapısı, risk esaslı ve öngörülebilir bir denetim düzeni üretmiştir.

Çalışmada önce ABD'de binalarda yangın güvenliğini denetlemekle görevli merciler ile idare ve özel hukuk kişileri tarafından yürütülen denetim türleri ele alınmakta; ardından Türk hukukunda tespit edilen eksiklikler başlıklar halinde ABD'deki çözümlerle karşılaştırılmaktadır. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular ışığında, Türk mevzuatına entegre edilebilecek risk esaslı bir denetim modeli önerisi sunulmaktadır.

I. BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİNİ DENETLEMEKLE GÖREVLİ MERCİLERİN BELİRLENMESİ

ABD, kod ve standartların geliştirilmesinde alışılmadık bir yaklaşıma sahiptir; kod ve standartlar bir uzlaşma süreciyle geliştirilir ve düzenleyici otoriteler (yani hükümet), diğer paydaşlarla aynı oy haklarına sahip ek paydaşlardır. Kod ve standartların geliştirilmesini ve yayımını yöneten kilit kuruluşlar, genellikle kar amacı gütmeyen özel şirketlerdir (Hirschler, 2017).

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) sisteminde yetki, Authority Having Jurisdiction (AHJ) kavramı üzerinden şekillenir. AHJ (NFPA, 2021), bir kodun veya standardın gerekliliklerini uygulamaktan veya bir ekipmanı, malzemeyi, kurulumu ya da prosedürü onaylamaktan sorumlu olan organizasyon, ofis veya birey olarak tanımlanır.

Federal binalarda yetki federal kurumlardayken, özel ve yerel binalarda itfaiye teşkilatları (Fire Department of the City of New York (FDNY), Chicago Fire Department (CFD) vd.) ve yapı departmanları yetkilidir (Safety and Environmental Management, 2020).

A. İdare Tarafından Gerçekleştirilen Denetim

1. Genel Olarak Binalarda Yangın Güvenliğini Denetlemekle Görevli Merciler

Genel olarak binalarda yangın güvenliğini denetlemekle görevli merciler federal binalarda doğrudan federal hükümetin, özellikle General Services Administration (GSA) denetimindedir (Safety and Environmental Management, 2020). Federal Fire Prevention and Control Act of 1974 (1974 Federal Yangın Önleme ve Kontrol Yasası), ulusal yangın güvenliği politikasının temel çerçevesini çizerken, bugün Amerika Birleşik Devletleri İtfaiye İdaresi (United States Fire Administration-USFA) olarak bilinen kurumun (1974'te "National Fire Prevention and Control Administration" adıyla kurulan, 1978'de bugünkü adını alan) temellerini atarak federal düzeyde koordinasyonu artırmıştır (Federal Fire Prevention and Control Act, 1974).

Bununla birlikte, 15 U.S. Code 2227 maddesi, federal fonlarla desteklenen binalarda ve federal çalışanların bulunduğu alanlarda yangın güvenliği sistemlerinin kurulmasını zorunlu kılar (Fire safety systems in federally assisted buildings, 2023).

Bu düzenleme, belirlenen standartlara uymayan ve yaşam güvenliği sağlanmamış binaların federal kurumlar tarafından kiralanmasını veya finanse edilmesini kural olarak yasaklayarak denetimi güçlü bir idari yaptırıma bağlar. Bununla birlikte bu zorunluluk kademelidir: altı ve daha fazla katlı binalarda otomatik yağmurlama (sprinkler) sistemi aranırken, daha küçük binalarda yalnızca tehlikeli alanların korunması istenmekte; standartlara uygun ve uygun maliyetli bir alternatifin bulunmadığı hâllerde ise istisnalar öngörülmektedir (Fire safety systems in federally assisted buildings, 2023).

Binaların yer aldığı şehrin yerel itfaiye departmanları ve yapı denetim ofisleri yetkilidir. Örneğin Chicago›da bu yetki 'Chicago İtfaiye Departmanı- Yangın Önleme Bürosu'na (Fire Prevention Bureau) aittir. Söz konusu büro; okullar, hastaneler, oteller, yüksek katlı yapılar ve ticari binaların Municipal Code of Chicago (Chicago Belediye Kanunu) kapsamındaki yangın kodlarına uyumunu düzenli olarak denetler. Denetimler yalnızca onay aşamasında kalmaz; günlük operasyonlardaki yangın risklerinin önlenmesini, şikayetlerin incelenmesini ve tahliye planlarının kontrolünü de kapsar. Denetimler sonucunda tespit edilen eksiklikler için ihlal bildirimleri düzenlenir ve gerekli iyileştirmeler yapılmadığı takdirde konu idari mahkemelere taşınabilir (Chicago Fire Department, 2025).

1.1. Ruhsatlandırma Aşamasında Denetim

1.1.1. Yapı (İnşaat) Ruhsatı Alınması Aşamasında Denetim

ABD hukukunda yeni bir inşaata başlanması, mevcut bir yapının kullanım amacının değiştirilmesi veya büyük çaplı tadilat yapılması durumlarında yapı (inşaat) ruhsatı verilmesi, tek bir kurumun inisiyatifinde değildir. Bu aşamada, şehirlerin Yapı İşleri Daireleri ile İtfaiye Departmanları arasında kesin ve birbirini tamamlayan bir yetki paylaşımı mevcuttur. Genel kural olarak; binanın statik taşıyıcı sistemi, mimari yerleşimi ve genel inşaat kodlarına uygunluğu Yapı İşleri Dairesi tarafından denetlenirken (New York City Council, 1984), binaya entegre edilecek aktif yangın koruma sistemlerinin (yangın alarmları, otomatik sprinkler sistemleri, duman kontrol ve tahliye mekanizmaları) mühendislik projeleri ile itfaiye araçlarının binaya erişim yolları doğrudan İtfaiye Departmanının uzmanlığına ve onayına bırakılmıştır.

Örneğin New York şehrinde herhangi bir inşaat projesine başlamadan önce, planların Yapı Yönetmeliğine uygun olduğundan emin olmak için NYC DOB'a başvuru yapılması gerekmektedir (New York City Department of Buildings, t.y.). Ancak DOB'un mimari projeyi onaylaması inşaatın tüm yönleriyle başlayabilmesi için yeterli değildir. Yangın alarm sistemlerine ait mühendislik planları DOB tarafından değil, doğrudan FDNY Yangın Önleme Bürosu tarafından incelenip onaylanır; FDNY'nin onayı olmadan bu sistemlerin kurulumuna geçilemez. Buna karşılık otomatik yağmurlama (sprinkler) ve yangın dolabı (standpipe) projeleri, New York Şehri Yapı Yönetmeliği çerçevesinde DOB tarafından incelenir. FDNY'nin proje onayı yetkisi ayrıca endüstriyel mutfak davlumbaz söndürme sistemleri gibi belirli özel söndürme sistemlerini kapsar (FDNY, 2023)

Chicago uygulamasında da yüksek katlı binalar, okullar, hastaneler ve büyük ticari yapılar gibi riskli sınıftaki projelerin ruhsatlandırılması aşamasında, Chicago Yapı Dairesi ile CFD Yangın Önleme Bürosu ortak bir proje inceleme süreci yürütür. İtfaiyenin tahliye yolları ve aktif sistemler üzerindeki onayı olmadan inşaat ruhsatı düzenlenmez (Chicago Fire Department, 2025)

Güncel mevzuat olan 2021 Seattle Fire Code (2021 Seattle Yangın Kodu) kapsamında ise bu süreç çok daha kurumsallaşmış bir yapıya kavuşturulmuştur. Seattle İtfaiyesi bünyesinde sadece bu ruhsatlandırma sürecini yönetmek üzere kurulmuş özel bir "İnşaat Denetim Birimi" (Construction Inspections) bulunmaktadır. Seattle'da müteahhitler veya mülk sahipleri, genel inşaat ruhsatını Seattle İnşaat ve Denetim Dairesinden (SDCI) alırken; yangın alarm sistemleri, otomatik yağmurlama (sprinkler) sistemleri, yangın pompaları, yangın dolabı (standpipe) ve duman kontrol sistemlerine ilişkin inşaat izinlerini de SDCI'den alır. 2021 Seattle Yangın Kodu'nun 105.6 numaralı bölümü, bu sistemler için İtfaiye tarafından verilen ayrı bir inşaat izni aranmadığını açıkça belirtmektedir. Buna karşılık Seattle İtfaiyesi, söz konusu sistemlerin proje incelemesini ve inşaat aşamasındaki denetimlerini bizzat yürütür. Ayrıca tehlikeli madde depolama tesisleri ile sıcak işlem, yüksek istifli yanıcı depolama, enerji depolama sistemleri gibi tehlikeli süreçler için doğrudan İtfaiyeden ayrı bir "kurulum izni" alınması zorunludur ve izin düzenlenmeden bu işlere başlanamaz (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

1.1.2. Yapı Kullanma İzni (İskân Ruhsatı) Alınması Aşamasında Denetim

ABD uygulamasında Yapı Kullanma İzni (Certificate of Occupancy - C of O), bir binanın inşasının veya büyük çaplı tadilatının yasalara uygun olarak tamamlandığını ve can güvenliği açısından kullanıma açılmasında sakınca bulunmadığını tescil eden en kritik belgedir. Bu belgenin verilmesi aşamasında bürokratik evrak incelemesinden ziyade, sahada gerçekleştirilen "yerinde test ve ortak onay" mekanizması katı bir şekilde uygulanır. İskân ruhsatını hukuken düzenleme yetkisi genellikle şehirlerin Yapı İşleri Dairelerinde (Department of Buildings / Department of Construction and Inspections) bulunsa da, yangın güvenliği sistemlerine ilişkin nihai "kabul testleri" başarıyla geçilmeden bu belge düzenlenemez. Bu testlerin bir kısmı doğrudan

İtfaiye Departmanı uzmanlarınca, bir kısmı ise idarece yetkilendirilmiş özel denetçilerce yürütülür; her hâlde sonuçlar yetkili mercilere iletilir (International Code Council [ICC], 2021).

Örneğin New York'ta, nihai iskân belgesi NYC DOB tarafından verilir. Ancak DOB'un bu ruhsatı düzenleyebilmesi için, binaya kurulan yangın alarm sisteminin FDNY uzmanları gözetiminde sahada test edilmesi ve FDNY'nin resmî bir onay yazısı (Letter of Approval) yayımlaması yasal bir ön şarttır. Otomatik yağmurlama (sprinkler) ve duman kontrol sistemlerinin kabul testleri ise New York Şehri Yapı Yönetmeliği'nin özel denetim hükümleri uyarınca DOB tarafından yetkilendirilmiş özel denetçiler gözetiminde yapılır; düzenlenen test belgeleri hem DOB'a hem FDNY'ye iletilir. Dolayısıyla iskân, birden çok kurumun onayının birleştiği çok aşamalı bir süreçtir (New York City Department of Buildings, t.y.).

Chicago örneğinde de benzer bir "çift anahtar" sistemi mevcuttur. İskân belgesi (Certificate of Occupancy) Chicago Yapı Dairesi tarafından düzenlenir. Bu belge her yapı için değil; dört ve daha fazla bağımsız bölüm içeren yapılarda, on bin square feet'i aşan konut dışı kullanımlarda, kullanım amacı değişikliklerinde ve alan büyüklüğüne bakılmaksızın toplanma, eğitim, sağlık/bakım ile tehlikeli madde kullanım sınıflarında zorunludur. Yapı Dairesi, iskân için gereken meslek denetimlerini koordine eder ve kullanım sınıfının gerektirdiği hâllerde CFD Yangın Önleme Bürosu denetimini de sürece dâhil eder; yangın çıkış kapasiteleri ve can güvenliği sistemleri bu denetimde doğrulanır. İskân belgesi gerektiren bir yapının bu belge alınmadan kullanıma açılması hukuka aykırıdır (Chicago Fire Department, 2025).

Güncel mevzuat olan 2021 Seattle Fire Code (2021 Seattle Yangın Kodu) uygulamalarında ise iskân onayı süreci çok daha spesifik teknik kurallara bağlanmıştır. Seattle İnşaat ve Denetim Dairesi (Seattle Department of Construction and Inspections (SDCI)) iskânı verirken, mutlak suretle Seattle İtfaiyesi İnşaat Denetim Birimi'nin (Seattle Fire Department Construction Inspections) sistem kabul onayını arar. İtfaiye birimi; yangın pompaları, özel söndürme sistemleri ve yangın alarm sistemleri için detaylı kabul testleri yapar. Hatta ABD uygulamasında oldukça yaygın olan "Geçici İskân Ruhsatı" (Temporary Certificate of Occupancy - TCO) verilebilmesi için dahi, binanın sadece iskâna açılacak (kullanılacak) kısımlarındaki tüm yangın güvenliği sistemlerinin ve tahliye yollarının eksiksiz çalıştığının itfaiye tarafından onaylanmış olması şartı aranır (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

1.2. Ruhsatlandırma Sonrasında Denetim

ABD yangın güvenliği hukukunda, bir binaya yapı kullanma izni (iskân ruhsatı) verilmesi, itfaiyenin o bina üzerindeki denetim yetkisini sona erdirmez; aksine yapının kullanım ömrü boyunca devam edecek olan periyodik ve operasyonel denetim sürecini başlatır. Ruhsatlandırma sonrasındaki bu denetimlerin temel amacı; bina inşa edilirken kurulan aktif ve pasif yangın güvenlik sistemlerinin (sprinkler, alarmlar, yangın kapıları) çalışır durumda tutulmasını, tahliye yollarının açık olmasını ve binanın günlük işletmesinde yangın riskini artıracak tehlikeli faaliyetlerden kaçınılmasını sağlamaktır.

AHJ konumundaki yerel itfaiye departmanları, binaların kullanım sınıfına ve risk durumuna göre değişen periyotlarla habersiz veya planlı denetimler gerçekleştirir. Örneğin; FDNY, ruhsatlandırma sonrasında binaların New York City Fire Code (New York Şehri Yangın Kodu) kurallarına uyumunu sürekli olarak denetler. İlgili kodun "Yangına Karşı Genel Önlemler" başlıklı 3. Bölümü uyarınca FDNY müfettişleri; acil çıkış yollarının depolama amacıyla işgal edilip edilmediğini, yanıcı materyallerin doğru muhafaza edilip edilmediğini ve taşınabilir yangın söndürücülerin periyodik bakımlarının yapılıp yapılmadığını denetlemekle tam yetkilidir (New York City Fire Department [FDNY], 2023).

Chicago uygulamasında da ruhsatlandırma sonrası denetimler büyük bir titizlikle yürütülür. CFD Yangın Önleme Bürosu, şehirdeki okullar, hastaneler, oteller, bakım evleri ve yüksek katlı ticari binalar gibi yüksek can riski taşıyan yapılar için standart periyodik (genellikle yıllık) denetimler düzenler. Bu denetimlerde sadece

fiziksel donanımlar değil, işletmelerin "Acil Durum ve Tahliye Planları"nın güncelliği de kontrol edilir. Ayrıca, vatandaşlardan gelen yangın güvenliği şikayetleri üzerine anlık denetimler yapmak ve tespit edilen ihlalleri idari yaptırıma bağlamak doğrudan bu büronun görevidir (City of Chicago, t.y.).

Güncel 2021 Seattle Fire Code (2021 Seattle Yangın Kodu) da ruhsatlandırma sonrası denetimleri yasal bir zorunluluk olarak kodifiye etmiştir. Mevzuatın 11. Bölümü (Requirements for Existing Buildings), halihazırda iskân almış ve faaliyette olan binaların asgari yangın güvenliği standartlarını korumasını emreder. Seattle İtfaiyesi, bina sahiplerinin yangın koruma sistemlerini yetkili ve lisanslı üçüncü taraf profesyonellere düzenli olarak test ettirip ettirmediğini ve bu test raporlarının itfaiyeye sunulup sunulmadığını denetler. Bakımı yapılmamış sistemler tespit edildiğinde, itfaiye "İhlal Bildirimi" düzenleyerek eksikliklerin giderilmesi için yasal bir iyileştirme süresi başlatır (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

1.3. Bazı Tesisler İçin Öngörülen Özel Düzenlemeler (Örneğin, yüksek binalar, nükleer tesisler vb.)

ABD yangın güvenliği hukukunda, standart bina kodlarının yetersiz kalabileceği yüksek riskli yapılar ve kritik altyapılar için hem yerel hem de federal düzeyde son derece spesifik ve katı özel düzenlemeler geliştirilmiştir. Bu tesisler, sıradan binalara kıyasla çok daha farklı denetim mekanizmalarına ve operasyonel zorunluluklara tabidir.

Yüksek katlı binalar, itfaiyenin dışarıdan merdivenle müdahalesinin fiziksel olarak imkânsızlaşması ve dikey tahliye süreçlerinin karmaşıklığı nedeniyle yerel idareler tarafından özel kodlara tabi kılınmıştır. Örneğin; Arlington (Virginia) İtfaiye Mareşalliği (Office of the Fire Marshal) mevzuatına göre, yüksek katlı binaların standart bir tahliye planının ötesinde, İtfaiye tarafından onaylanmış kapsamlı bir "Yüksek Bina Yangın Güvenliği Eylem Planı"na (High-Rise Fire Safety Action Plan) sahip olması zorunludur. Ayrıca bu binalarda, itfaiye operasyonlarının yürütülmesine tahsis edilen ve yeri itfaiye şefince onaylanan özel "Yangın Komuta Merkezleri" (Fire Command Centers) bulunması zorunludur. Uluslararası Yangın Kodu'nun 508 numaralı bölümünden kaynaklanan ve Virginia eyalet yangın kodu aracılığıyla Arlington'da uygulanan bu düzenleme, komuta merkezinde bulunacak donanımı tek tek sayar: acil anons ve alarm haberleşme birimi, itfaiye haberleşme sistemi, yangın algılama ve alarm göstergesi, asansörlerin konum ve çalışma durumunu gösteren gösterge paneli ile asansör geri çağırma ve yedek güç seçici anahtarları, duman kontrol paneli, merdiven kapılarının kilidini açan kumandalar, yağmurlama vanası ve su akış göstergeleri, yangın pompası ve yedek güç durum göstergeleri ile bina şemaları. Yüksek binalarda bu merkezin asgari büyüklüğü ve yangına dayanıklı bir bölme ile ayrılması da kodda belirlenmiştir (Arlington County Government, 2025; International Code Council [ICC], 2021).

Geçmişte inşa edilmiş binaların güncel güvenlik seviyesine getirilmesi için de özel yasal düzenlemeler mevcuttur. 2021 Seattle Fire Code (2021 Seattle Yangın Kodu), sadece bu amaca yönelik olarak "Yüksek Binalar İçin Asgari Standartlar" (Minimum Standards for High-Rise Buildings) başlıklı özel bir 93. Bölüm ihdas etmiştir. Bu bölüm; mevcut yüksek binalara geriye dönük olarak bölmelendirme (kompartımanlaştırma), yangın alarmı verildiğinde birden fazla katı besleyen havalandırma sistemlerinin otomatik olarak durdurulması, merkezî istasyondan izlenen denetimli yangın algılama ve alarm sistemi ile asansörlerin geri çağrılması, kaçış yolu ve merdiven iyileştirmeleri, acil durum güç kaynağı ve yangın güvenliği direktörü ile kat sorumlularının görevlendirildiği bir acil durum eylem planı yükümlülükleri getirir. Mevcut yüksek binalar bakımından geriye dönük yağmurlama (sprinkler) yükümlülüğü ise aynı kodun 11. Bölümünde (1103.5.4) düzenlenmiş olup, uyum için azami on iki yıllık bir takvim öngörülmektedir (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021). Benzer şekilde FDNY ve CFD uygulamalarında, yüksek katlı ticari binalarda ve otellerde özel eğitim almış sertifikalı direktörler bulundurulması mecburidir; bu görevliler FDNY uygulamasında "Yangın ve Can Güvenliği Direktörü" (Fire and Life Safety Director), Chicago (CFD) uygulamasında ise "Yangın Güvenliği Direktörü" (Fire Safety Director; Municipal Code of Chicago Bölüm 13-78) olarak adlandırılır (City of Chicago, t.y.).

Can ve mal güvenliğinin doğrudan ulusal güvenlik boyutu kazandığı nükleer tesislerde ise yerel itfaiyelerin yetkisi yerini doğrudan ağır federal kurallara bırakır. Nükleer güç santrallerinin yangın güvenliği denetimi, ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu'nun (U.S. Nuclear Regulatory Commission [NRC], 2024) yetkisindedir. Federal Düzenlemeler Kanunu'nun 10. Başlığı (10 CFR Part 50) altındaki 50.48 numaralı "Yangından Korunma" (Fire Protection) maddesi, nükleer tesisler için eşi benzeri olmayan bir performans standardı getirir. Bu federal yasaya göre; nükleer tesiste ne kadar büyük bir yangın çıkarsa çıksın ve tesisteki sistemler ne kadar hasar görürse görsün, tesisin tasarımında nükleer reaktörü «güvenli bir şekilde kapatacak» ve radyoaktif sızıntıyı engelleyecek bağımsız/yedekli yangın koruma sistemlerinin bulunması yasal bir zorunluluktur (NRC, 2024). Bu tesislerin ruhsatlandırılması ve nükleer güvenlik denetimleri münhasıran federal düzeyde yürütülür; NRC her santralde sürekli görev yapan en az iki yerleşik müfettiş bulundurur. Bununla birlikte yerel itfaiyeler süreçten tümüyle dışlanmış değildir: federal yangından korunma düzenlemeleri, ruhsat sahibinin yerel itfaiye teşkilatıyla yazılı karşılıklı yardım anlaşması yapmasını, ön yangın müdahale planlarını bu teşkilata vermesini ve periyodik tatbikatlara katılımını sağlamasını zorunlu kılar (NRC, 2024).

2. İşyeri Niteliğindeki Binalarda Yangın Güvenliğini Denetlemekle Görevli Merciler

ABD hukukunda ticari işletmelerin ve işyerlerinin yangın güvenliği denetimi, standart bina denetimlerinden farklı olarak, çalışanların can güvenliğini merkeze alan federal iş sağlığı yasaları ile yerel itfaiye kodlarının kesiştiği "ikili (federal ve yerel) bir denetim mekanizmasına" tabidir.

2.1. İşyerinin Kurulması Aşamasında Denetim

ABD hukukunda, bir ticari işletmenin fiziksel mekânında faaliyete geçebilmesi için sadece binanın genel "Yapı Kullanma İzni"ne (Certificate of Occupancy) sahip olması yeterli görülmez. İşletmenin yapacağı ticari faaliyetin niteliğine (occupancy türü ve tehlike sınıfı) bağlı olarak, yerel yönetimlerden spesifik bir "İşletme Ruhsatı" (Business License) veya "Operasyonel İzin" alınması zorunludur. Bu ruhsatların düzenlenmesi aşamasında, AHJ konumundaki yerel itfaiye teşkilatları, işletmenin faaliyet alanına özel riskleri yerinde denetleyerek onay vermekle görevlidir.

Örneğin New York›ta, genel işletme ruhsatı süreçleri şehrin Tüketici ve Çalışanları Koruma Dairesi (DCWP) tarafından yürütülse de, yangın riski taşıyan belirli iş kollarında FDNY Yangın Önleme Bürosu'nun "İşletme Denetimi"nden geçmek hukuki bir ön şarttır. NYC mevzuatına göre kapalı alanda yetmiş beş ve daha fazla kişinin toplanabildiği yerler "Toplu Kullanım Alanı" (Place of Assembly) sayılır; restoranlar, gece kulüpleri ve tiyatrolar bu kapsamdadır. Bu yerlerin faaliyete geçebilmesi için önce DOB'dan, yerinde denetim sonrasında ve bir yıl süreyle geçerli olmak üzere "Toplu Kullanım Alanı İşletme Belgesi" (Place of Assembly Certificate of Operation) alınması; ardından Yangın Kodu'nun 105.6 numaralı hükmü uyarınca FDNY'den ayrıca izin alınması gerekir. FDNY izni de her yıl, İtfaiyenin yaptığı denetime dayanılarak yenilenir. Tehlikeli/yanıcı kimyasal depolayan tesisler ile davlumbaz söndürme sistemi gerektiren endüstriyel mutfaklar da faaliyete geçmeden önce FDNY denetçileri tarafından sahada incelenir. Bu denetimden başarıyla geçemeyen ve itfaiyenin sistem onaylarını alamayan işletmelere faaliyet izni verilmez (New York City Fire Department [FDNY], 2024).

Chicago uygulamasında itfaiye ve ruhsatlandırma kurumları tam bir entegrasyon içinde çalışır. CFD Yangın Önleme Bürosu, şehrin İşletme İşleri ve Tüketiciyi Koruma Dairesi (BACP- Department of Business Affairs and Consumer Protection) ile koordineli olarak "ruhsat öncesi" denetimler gerçekleştirir. Özellikle kreşler, alkollü içki satışı yapacak mekanlar ve halka açık eğlence yerleri (Public Place of Amusement) ile toplanma alanlarının işletme ruhsatı alabilmesi için itfaiyenin o spesifik ticari faaliyet için tahliye kapasitesini ve acil durum donanımlarını onaylaması mutlak bir gerekliliktir (City of Chicago, t.y.).

Güncel 2021 Seattle Fire Code uygulamasında ise inşaat izinleri ile işletme izinleri birbirinden kesin hatlarla ayrılmıştır. Kodun ilgili idari bölümleri uyarınca, bir işletme inşasını tamamlamış olsa dahi; kaynak ve sıcak işlem yapacaksa, yüksek istifli yanıcı depolama veya belirli tehlikeli maddeleri kullanacaksa Seattle İtfaiyesinden özel "Operasyonel İzinler" almak zorundadır. Bu izinler verilmeden önce itfaiye müfettişleri işletmeyi ziyaret ederek operasyonel güvenlik standartlarının sağlandığını, yangın söndürücülerin doğru konumlandırıldığını ve çalışanların acil durum planlarına hakim olduğunu bizzat denetler (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

2.2. İşyerinin Kurulması ve Faaliyete Geçmesi Sonrasında Denetim

ABD hukukunda bir işyerinin faaliyete geçmesi, yangın güvenliği denetimlerinin sona erdiği anlamına gelmez; aksine, işletmenin tüm ticari ömrü boyunca devam edecek olan ve hem federal hem de AHJ dâhil olduğu çok katmanlı bir «Operasyonel Denetim» sürecini başlatır.

Federal düzeyde, çalışanların yangın tehlikelerinden korunması temel bir işçi hakkı olarak kabul edilir. Bu kapsamda OSHA, işyerlerinde habersiz denetimler yapma yetkisine sahiptir. OSHA denetçileri; işletmelerin yazılı bir "Acil Durum Eylem Planı"na (Emergency Action Plan; 29 CFR 1910.38) ve "Yangın Önleme Planı"na (Fire Prevention Plan; 29 CFR 1910.39) sahip olup olmadığını, yangın çıkış kapılarının içeriden kilitlenip kilitlenmediğini ve kaçış yollarında (çıkış koridorlarında) malzeme depolanıp depolanmadığını sıkı bir şekilde kontrol eder.

Federal denetimlerin yanı sıra, günlük ticari operasyonların yerel yangın kodlarına uyumu, doğrudan yerel itfaiye teşkilatlarının sorumluluğundadır.

CFD Yangın Önleme Bürosu, faaliyetteki ticari işletmeleri, restoranları ve otelleri düzenli olarak denetler. Bu denetimlerde özellikle işletmelerin ruhsatlarında belirtilen "maksimum kişi kapasitesi" sınırlarına uyup uymadıkları ve kalabalık yönetimi stratejileri incelenir. Ayrıca, Otel/Tek Odalı Konaklama Birimleri yangın güvenliği prosedürlerinin yürürlükte olduğundan emin olmak için bu tesislerde düzenli periyodik (Chicago Belediye Kanunu uyarınca yıllık) yerinde incelemeler de gerçekleştirirler. Büro, vatandaşlardan gelen yangın güvenliği şikâyetlerini anında değerlendirerek ilgili işyerlerine habersiz saha denetimleri gerçekleştirir (City of Chicago, t.y.).

Faaliyetteki işyerlerinin yangın koruma sistemlerinin sürekliliği güncel 2021 Seattle Fire Code Bölüm 11 ile yasal güvence altına alınmıştır. Sistemlerin Sürekliliği ve Yasal Güvence: Metin, mevcut binalardaki yangın koruma sistemlerinin kaldırılmasına veya güvenlik seviyesinin düşürülmesine izin verilmeyeceğini açıkça belirterek sistemlerin sürekliliğini yasal güvence altına alır. Tarihi binalar için NFPA 914 uyarınca bir yangın koruma planı geliştirilmesi zorunluluğu belirtilmiştir (City of Seattle, 2021)

FDNY tarafından yapılan rutin işletme denetimlerinde, acil ve yakın bir tehlike eksiklikler tespit edildiğinde (örneğin süresi geçmiş yangın söndürücü veya eksik yönlendirme tabelası), işletme sahibine bir "İhlal Bildirimi" düzenlenir. FDNY mevzuatı, işletmelere bu ihlali gidermeleri için 35 günlük bir "İyileştirme Süresi" tanır. İşyeri sahibi bu süre zarfında eksikliği giderir ve yetkili profesyonellerden aldığı kanıtı FDNY'nin merkezi dijital portalına yüklerse para cezası ödemekten muaf tutulur. Ancak süre sonunda ihlal devam ediyorsa dosya, bağımsız bir idari mahkeme olan New York İdari Yargılama ve Duruşma Ofisi'ne (OATH) intikal eder. OATH, giderilmeyen veya aynı işyerinde tekrarlanan ihlaller için katlanarak artan para cezaları keser; düzeltilmemekte ısrar edilen kritik eksikliklerde ise itfaiyenin talebiyle işyerinin faaliyetini durdurma ve mühürleme kararı çıkarılır (New York City Fire Department, 2023).

B. Özel Hukuk Kişileri Tarafından Gerçekleştirilen Denetim

1. Kamuya Ait Yapıların Denetimi

ABD yangın güvenliği hukukunda kamuya ait binaların denetimi söz konusu olduğunda, temel kural olarak idari ve cezai yaptırım yetkisi devletin kendi organlarında kalır. Ancak sistemin pratik işleyişinde, özel hukuk kişilerine devredilmiş çok kritik ve yasal olarak zorunlu teknik denetim rolleri bulunmaktadır. ABD sistemi, idarenin üzerindeki personel yükünü hafifletmek için «Karma Denetim Modeli» (Hybrid Inspection Model) uygular.

1992 tarihli Yangın İdaresi Yetkilendirme Yasası (Fire Administration Authorization Act of 1992, Public Law 102-522) ve ilgili federal düzenlemeler uyarınca, federal binaların genel denetim şemsiyesi Genel Hizmetler İdaresi (GSA) ve federal müfettişlerin sorumluluğundadır (Legal Information Institute, t.y.). Ancak, bu yasa kapsamında kamu binalarına kurulan son derece karmaşık otomatik yağmurlama (sprinkler) ve yangın alarm sistemlerinin NFPA 25 ve NFPA 72 standartlarına göre yapılması gereken aylık, altı aylık ve yıllık performans testleri, devlet memurları tarafından yapılmaz. Federal kurumlar bu spesifik test, ölçüm ve raporlama işlemlerini, alanında akredite olmuş (örneğin NICET sertifikasına sahip) özel yangın güvenliği şirketlerine (özel hukuk kişilerine) ihale eder veya sözleşme ile devreder. Özel şirket mühendislerinin hazırladığı bu uygunluk raporları, federal otorite tarafından resmi denetim belgesi olarak kabul edilir.

Yerel Kamu Binalarında (Okullar, Belediye Binaları) Uygulama: FDNY kuralları (3 RCNY §104-02 ve §105-01), yangın alarm sistemlerinin tasarım ve kurulumunun onaylanması sürecinde, FDNY'nin plan incelemesi ve denetimi yerine lisanslı profesyoneller tarafından sertifikalandırılmasına izin verir. Bu mekanizma, 2022 New York Şehri Yangın Kodu ve ilgili FDNY kuralları (3 RCNY §104-02, §104-04 ve §105-01) ile yasal güvence altına alınmıştır. FDNY, bu işlemleri gerçekleştirecek kişileri "Registered Design Professional" (Kayıtlı Tasarım Profesyoneli - Mühendis/Mimar) veya "Fire Alarm Professional" (Master Elektrikçi veya sertifikalı alarm kurulumcuları) olarak tanımlamaktadır.

Şehirlere veya eyaletlere ait kamu binalarında da bu dışa aktarım mekanizması yasal kodlarla güvence altına alınmıştır. Örneğin, New York›taki bir devlet okulunun veya kamu kütüphanesinin genel saha denetimi bizzat FDNY görevlileri tarafından yapılır. Ancak, binadaki yangın alarm sisteminin kurulumunun belgelendirilmesi yalnızca idarece tanınan lisanslı profesyonellerce yapılabilir; sistemin işletme dönemindeki periyodik denetim, test ve bakımı ise İtfaiyeden "Uygunluk Belgesi" almış teknisyenlerce ve İtfaiyenin tanıdığı şirketler eliyle yürütülür (New York City Fire Department [FDNY], 2023; New York City Fire Department [FDNY], 2020).

Aynı prensip 2021 Seattle Fire Code (Seattle Yangın Kodu) uygulamasında da geçerlidir. İlgili mevzuat, binanın mülkiyetinin kime ait olduğuna (kamu veya özel) bakılmaksızın, can güvenliği sistemlerinin periyodik test ve bakımlarının kesinlikle Seattle İtfaiyesinden lisans almış özel sektör teknisyenleri tarafından yapılmasını ve bu özel hukuk kişilerinin düzenlediği raporların itfaiyenin sistemine yüklenmesini emreder (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

2. Kamuya Ait Yapılar Dışında Kalan Yapıların Denetimi

ABD yangın güvenliği hukukunda, mülkiyeti özel hukuk kişilerine ait olan yapıların denetimi, yerel idarelerin sınırlı personel kapasitesi ile binaların devasa hacmi arasındaki dengeyi sağlamak amacıyla "Yetkilendirilmiş Üçüncü Taraf Denetimi" (Third-Party Inspection) modeline dayandırılmıştır. Bu sistemde, asli sorumluluk mülk sahibine yüklenirken, teknik testlerin icrası özel sektöre, hukuki yaptırım yetkisi ise yine devlete bırakılmıştır.

Amerikan hukukunda özel binaların yangın güvenliği standartlarına uygun olarak işletilmesi ve sistemlerin faal tutulması doğrudan "Bina Sahibinin/İşletmecinin" yasal yükümlülüğüdür. AHJ, binadaki yüzlerce duman dedektörünü veya yangın pompasını tek tek test etmez. Bunun yerine NFPA 101 (Can Güvenliği Kodu) ve NFPA 25 (Su Bazlı Söndürme Sistemlerinin Bakımı) gibi ulusal standartlar, mülk sahiplerini bu testleri kendi bütçeleriyle yetkili özel denetim firmalarına yaptırmakla mecbur tutar (National Fire Protection Association [NFPA], 2021).

Bu özel firmalar sıradan şirketler değildir; personelinin ilgili standardın aradığı anlamda "yetkin" olması gerekir. Bu yetkinliğin ispatında NICET (National Institute for Certification in Engineering Technologies) belgelendirmesi yaygın biçimde aranmakta veya kabul edilmektedir; denetim ve test işleri için genellikle Seviye II, tasarım ve proje incelemesi için Seviye III-IV öngörülür. NICET ülke genelinde yasal bir zorunluluk olmayıp gönüllü bir özel belgelendirme sistemidir; bağlayıcılığı, ilgili eyaletin veya yetkili merciin (AHJ) düzenlemesinden doğar. Sistemlerin bakım ve testleri bu özel hukuk kişileri tarafından gerçekleştirilir.

Eyalet ve Şehir Mevzuatlarında Üçüncü Taraf (Third-Party) Uygulamaları:

New York Modeli: New York Şehri Yangın Kodu'nun 901.6 numaralı hükmü ve ekli çizelgesi, yangın koruma sistemlerinin atıf yapılan standartlara -yangın alarm sistemleri bakımından NFPA 72'ye- uygun biçimde denetlenmesini, test edilmesini ve bakımının yapılmasını zorunlu kılar; yıllık test yükümlülüğü bu atıftan doğar. Bu işlemler, İtfaiyeden "Uygunluk Belgesi" (Certificate of Fitness) almış yetkili teknisyen tarafından bizzat yürütülmek zorundadır. Ayrıca 3 RCNY §115-01 uyarınca yangın alarm sistemlerinin kurulumu, denetimi, testi ve servisi yalnızca İtfaiye tarafından tanınan ve listeye alınan şirketlerce yapılabilir; şirketin bu tanınırlığı bir yıl süreyle geçerli olup her yıl yenilenir. Denetim ve test kayıtları en az üç yıl süreyle binada tutulur ve talep hâlinde İtfaiyeye ibraz edilir (New York City Fire Department [FDNY], 2020; New York City Fire Department [FDNY], 2024).

Seattle Modeli: Güncel 2021 Seattle Fire Code, özel binalarda bulunan can güvenliği sistemlerinin (Life Safety Systems) periyodik test ve bakımlarının, mutlaka Seattle İtfaiyesinden özel lisans almış bağımsız profesyoneller tarafından yapılmasını emreder. Bu profesyoneller, tespit ettikleri kritik yangın güvenliği arızalarını derhal itfaiyeye bildirmekle yasal olarak yükümlüdür (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

Chicago Modeli: CFD, özel yüksek katlı binalarda periyodik denetimler yapsa da, binanın yangın pompası testleri veya asansör geri çağırma sistemlerinin sertifikasyonu tamamen özel sektördeki lisanslı mühendisler tarafından yapılarak CFD'ye raporlanır (City of Chicago, t.y.).

II. TÜRK HUKUKUNDA BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ DENETİMİNE İLİŞKİN TESPİT ETTİĞİMİZ EKSİKLİKLERİN ÇÖZÜMLERİNİN İNCELEDİĞİMİZ YABANCI ÜLKE HUKUKUNDA ÇÖZÜMÜNÜN BULUNUP BULUNMADIĞININ İNCELENMESİ

A. Periyodik Yangın Güvenliği Denetimi Zorunluluğu Bulunup Bulunmadığı

Türk hukukunda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), yangın güvenlik sistemlerinin (söndürme, algılama, tahliye) kurulmasını ve periyodik bakımlarının yapılmasını zorunlu kılmış, bu sorumluluğu da bina sahibine veya yöneticisine yüklemiştir (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik [BYKHY], 2007). Ancak mevzuatımızda, yapı kullanma izni (iskân ruhsatı) alındıktan sonra, binaların bu güvenlik standartlarını koruyup korumadığını kamu idaresi adına denetleyecek "sistematik, zorunlu ve proaktif bir periyodik denetim mekanizması" açıkça düzenlenmemiştir.

Türkiye'deki mevcut sistemde kamu otoritelerinin (itfaiye veya belediyeler) denetimleri genellikle reaktif niteliktedir; yani denetimler çoğunlukla bir vatandaş şikâyeti üzerine, işyeri açma ve çalışma ruhsatı başvurusu sırasında veya ancak bir yangın felaketi meydana geldikten sonra gerçekleşmektedir. Bu noktada, Türk hukukunda ruhsatlandırma aşamasında fiilen işleyen bir yangın güvenliği denetiminin bulunduğu özellikle vurgulanmalıdır: İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik uyarınca umuma açık istirahat ve eğlence yerleri, parlayıcı-patlayıcı madde bulundurulan tesisler, otuzdan fazla kişinin çalıştığı işyerleri ile ana girişi doğrudan caddeye açılmayan iş merkezi ve pasajlar için itfaiye raporu alınması zorunludur (İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik, 2005). Dolayısıyla bu çalışmada işaret edilen boşluk, denetimin bütünüyle yokluğu değil; yapı kullanma izni alındıktan sonra mevcut yapı stokunu kapsayan, yasal takvime bağlı ve proaktif nitelikte bir kamu denetimi rejiminin bulunmamasıdır. Can güvenliğini doğrudan ilgilendiren yangın pompaları veya duman tahliye sistemlerinin faal olup olmadığı, düzenli bir kamu denetimi takvimine bağlanmamıştır.

ABD federal ve yerel hukukunda ise Türk hukukundaki bu temel eksikliğin, şansa veya şikâyete bırakılmayan "çift ayaklı" ve risk odaklı bir periyodik denetim zorunluluğu ile çözüldüğü görülmektedir:

Kırk üç eyalette bütün olarak benimsenen ve sağlık kuruluşları bakımından federal düzeyde de bağlayıcı kılınan NFPA 101 - Life Safety Code (Can Güvenliği Kodu), binaları kullanım türlerine ayırarak her bir kullanım sınıfı için kaçış yolu, işletme özellikleri ile denetim, test ve bakım yükümlülükleri öngörür; bu yükümlülüklerin muhatabı bina sahibi ve işletmecisidir (National Fire Protection Association [NFPA], 2021). Kamu adına yapılacak denetimlerin sıklığı ise NFPA 1 - Fire Code'un 10.2.7 numaralı hükmünde risk esaslı olarak belirlenmiştir: yüksek riskli kullanımlar yılda bir, orta riskli kullanımlar iki yılda bir, düşük riskli kullanımlar üç yılda bir denetlenir (National Fire Protection Association [NFPA], 2021). Bu risk esaslı takvim, eyalet ve şehir mevzuatlarına aktarılarak bağlayıcı hâle gelir. Örneğin Chicago Belediye Kanunu'nun 15-4-030 numaralı maddesi; tiyatroların, ibadet yerlerinin, okulların ve toplanma yerlerinin yanı sıra sınırlı konut istisnaları dışında birden fazla katlı bütün binaların İtfaiye tarafından her yıl denetlenmesini emreder (Municipal Code of Chicago, 2025).

Türk hukukunda iskân sonrası oluşan denetim boşluğu, ABD'de yerel itfaiye kodlarının "Mevcut Binalar" bölümleriyle doldurulmuştur. Örneğin 2021 Seattle Fire Code'un 11. Bölümü, mevcut binaların yalnızca inşa edildikleri dönemin koduna uygun kalmasıyla yetinmez; bu binalara geçmişe etkili (retroaktif) asgari güvenlik yükümlülükleri getirir: yağmurlama sistemleri, yangın dolapları, kullanım sınıfına göre yangın algılama ve uyarı sistemleri, duman dedektörleri, düşey boşlukların korunması ve kaçış yolları bakımından güncel asgari standartlara uyum aranır. Nitekim 1103.5.4 numaralı hüküm, belirli yükseklik ve tahliye özelliklerini taşıyan mevcut yüksek binaların geriye dönük olarak yağmurlama sistemiyle donatılmasını zorunlu kılmakta; mülk sahibinin yazılı bildirimden itibaren bir yıl içinde uyum takvimi sunmasını ve bu takvimin on iki yılı aşmamasını öngörmektedir. Bölüm ayrıca, önceki kodlara göre kurulmuş yangın koruma sistemlerinin kaldırılması veya güvenlik seviyesinin düşürülmesi yasağını içerir. Sistemlerin periyodik test ve bakım yükümlülüğü ise kodun 109 ve 901.6 numaralı bölümlerinden doğmaktadır (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

ABD hukuku, itfaiyenin sınırlı personel sayısıyla milyonlarca binayı her yıl tek başına denetleyemeyeceği gerçeğinden yola çıkarak "üçüncü taraf raporlamasını" zorunlu kılmıştır. New York ve Seattle uygulamalarında, bina sahipleri binadaki aktif yangın sistemlerini (sprinkler, alarmlar) her yıl itfaiye tarafından akredite edilmiş lisanslı özel firmalara test ettirmek zorundadır (City of New York, t.y.; Seattle Department of Construction and Inspections, 2021). Bu özel firmalar test sonuçlarını doğrudan İtfaiyenin merkezi dijital sistemine (örn. NYC'de FDNY Business portalına) yükler.

Sistem, periyodik test raporu zamanında yüklenmeyen veya testten geçemeyen binaları otomatik olarak "ihlalde" kabul eder. Türk sistemindeki iskân sonrası periyodik kamu denetimi boşluğunun aksine, New

York'ta bu durumda itfaiye bina sahibine derhal bir "İhlal Bildirimi" tebliğ eder ve eksikliğin giderilmesi için yasal iyileştirme süresi başlatır (New York City Fire Department [FDNY], 2024).

ABD hukukunda periyodik yangın güvenliği denetimi, bina sahibinin inisiyatifinden çıkarılmış; mülk sahibinin lisanslı uzmanlara periyodik test yaptırma mecburiyeti ile itfaiyenin yasal takvime bağlı proaktif saha denetimleri hukuki bir sistematiğe oturtularak Türk hukukundaki mevcut "iskân sonrası denetim boşluğu" tamamen giderilmiştir.

B. Eksikliklerin Giderilmesi İçin Verilecek Sürelere İlişkin Açık Düzenlenme Bulunup Bulunmadığı

Türk hukukunda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) ve ilgili imar mevzuatında, yapılan denetimler sonucunda tespit edilen yangın güvenliği eksikliklerinin giderilmesi için mülk sahibine veya işletmeciye verilecek sürelere ilişkin ülke çapında standartlaşmış, açık ve kesin bir yasal takvim bulunmamaktadır.

Mevcut sistemde, tespit edilen eksikliklerin giderilmesi için tanınacak süre, denetimi yapan belediyenin veya itfaiye teşkilatının tamamen kendi idari takdirine bırakılmıştır. Bu durum, aynı eksiklik için farklı ilçelerde veya şehirlerde çok farklı sürelerin verilmesine, idari işlemlerin öngörülebilirlikten uzaklaşmasına ve riskli binaların uzun süre tehlike arz etmeye devam etmesine yol açan ciddi bir hukuki boşluk yaratmaktadır.

ABD hukukunda ise idarenin takdir yetkisinden kaynaklanabilecek bu tür tutarsızlıkları önlemek adına, eksikliklerin giderilmesi için verilecek süreler "İhlal Bildirimi" mekanizmasıyla yasal bir standarda ve risk kategorizasyonuna bağlanmıştır:

ABD sisteminde, can güvenliğini anında ve doğrudan tehdit etmeyen "ölümcül olmayan" ihlaller için net süreler tanımlanmıştır. Örneğin, New York İtfaiyesi tarafından yapılan bir denetimde yönlendirme levhalarının eksikliği veya yangın söndürücülerin periyodik bakımının gecikmesi gibi tali bir eksiklik tespit edilirse, mülk sahibine standart olarak 35 günlük bir "İyileştirme Süresi" tanınır. İşletme sahibi, bu yasal süre içerisinde eksikliği giderir ve bunu FDNY'nin dijital sistemine kanıtlarıyla yüklerse idari ceza sürecinden muaf tutulur (New York City Fire Department [FDNY], 2024). Bu açık düzenleme, hem vatandaşa ne kadar süresi olduğunu net bir şekilde bildirir hem de aynı nitelikteki eksiklikler için birbirinden farklı süreler tanınmasını engelleyerek uygulama birliği sağlar.

Türk hukukundaki belirsizliğin aksine, ABD kodlarında hangi durumlarda kesinlikle süre verilmeyeceği de açıkça yazılmıştır. New York ve Seattle uygulamalarına göre; kilitli acil çıkış kapıları, tamamen devre dışı bırakılmış yangın alarm panelleri veya çalışmayan otomatik yağmurlama (sprinkler) sistemleri "Acil ve Yakın Tehlike" kabul edilir. Bu tür eksikliklerde idare onarım süresi (cure period) tanımaz. New York Şehri İdare Kanunu'nun 15-227 numaralı maddesi, cana veya mala yönelik yakın tehlike oluşturan bir durumun giderilmemesi veya acil hâlin belgelenmesi durumunda İtfaiye Amirine binanın derhal boşaltılmasını emretme yetkisi verir; aynı hüküm, konut nitelikli yerler dışında, taşınmazın "mühürlenmesi ve kapatılması"na da imkân tanır. İnşaat aşamasındaki yapılarda ise 2021 Seattle Yangın Kodu uyarınca "İşi Durdurma Emri" düzenlenir (New York City Administrative Code, 2023; Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

Chicago Belediye Kanunu, denetim sonucunda düzenlenecek ihlal bildiriminin yazılı olmasını, binanın hangi bakımdan mevzuata aykırı olduğunu açıkça göstermesini ve düzeltme için "belirli bir tarih" içermesini emreder; bu süre hiçbir hâlde bildirim tarihinden itibaren on beş günü aşamaz. Bildirimin bir örneğinin taşınmazın dış cephesine görünür biçimde asılması da zorunludur. Böylece hem eksikliğin niteliği hem de son düzeltme tarihi, idarenin takdirine bırakılmaksızın kanunla belirlenmiş olur (Municipal Code of Chicago, 2025).

ABD hukuku; tespit edilen eksiklikleri risk düzeyine (acil tehlike vs. tali ihlal) göre sınıflandırarak ve bu sınıflara yasal mevzuatta açıkça yazan kesin iyileştirme süreleri (örn. 35 gün veya sıfır gün) atayarak, Türk hukukunda idarenin takdir yetkisine bırakılan süre belirsizliği sorununu son derece öngörülebilir ve objektif bir standartla çözmüştür.

C. Kademeli (Risk Esaslı) Uyum Mekanizması Bulunup Bulunmadığı (Devam Eden İnşaatlar ve Faaliyetteki İşyerleri İçin Risk Kategorizasyonu, Süreler ve Geçici Önlemler)

Türk mevzuatında tespit edilen yangın güvenliği eksiklikleri için idari yaptırım veya süre verilirken, yasal metinlerde eksiklikleri "kritik, önemli, tali" şeklinde ayıran ve her bir kategoriye otomatik olarak farklı bir hukuki sonuç (süre, mühürleme veya geçici önlem) bağlayan standart ve sistematik bir risk kategorizasyonu bulunmamaktadır.

Mevcut sistemde, kilitli bir yangın çıkış kapısı ile tarihi geçmiş bir yangın söndürücü aynı genel "eksiklik" havuzunda değerlendirilebilmekte; idarenin tehlikenin boyutunu takdir ederek işlemi yönlendirmesi beklenmektedir. Ayrıca, yangın güvenlik sistemleri geçici olarak arızalanan faaliyetteki bir işyerinin, arıza giderilene kadar hangi geçici ve ikame edici güvenlik önlemleriyle çalışmaya devam edebileceğine dair yasal bir kılavuz eksikliği mevcuttur.

ABD yangın güvenliği hukuku, bu sorunu idarenin inisiyatifinden çıkararak, ihlalleri "Risk Temelli" kesin bir hiyerarşiye oturtmuş ve her bir kategori için farklı müdahale yöntemleri (süre, yaptırım, geçici önlem) tanımlamıştır.

Kategori 1: Acil ve Yakın Tehlike (Imminent Hazard) - Sıfır Tolerans:

İnsan hayatını o an doğrudan tehdit eden ihlallerdir. Kaçış yollarının (means of egress) kilitli/tıkalı olması, otomatik yangın söndürme (sprinkler) sistemlerinin çalışmaması veya itfaiye su bağlantılarının iptal edilmiş olması bu gruba girer.

Bu kategoride hiçbir şekilde süre (cure period) tanınmaz. İşletme faaliyette ise, New York Şehri İdare Kanunu'nun 15-227 numaralı maddesi uyarınca derhal "Tahliye/Boşaltma Emri" (Vacate Order) verilir; ayrı bir kararla taşınmazın mühürlenmesine de karar verilebilir. Yangın alarmı veya yağmurlama sistemi geçici olarak devre dışı kaldığında ise Yangın Kodu'nun 901.7 numaralı hükmü, idareye bildirim yapılmasını ve binanın tahliye edilmesini veya yangın nöbeti tutulmasını emreder (New York City Administrative Code, 2023; New York City Fire Department [FDNY], 2022). Devam eden bir inşaatta ise, 2021 Seattle Fire Code Bölüm 33 (İnşaat ve Yıkım Sırasında Yangın Güvenliği) uyarınca, yangın yolları kapanmışsa derhal "İşi Durdurma Emri" kesilir ve şantiye faaliyeti anında durdurulur (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

Kategori 2: Önemli İhlaller (Cure-Eligible Violations) - Süre Tanınan Haller:

Doğrudan ve anlık bir can kaybı riski yaratmayan ancak yangın güvenliğini zafiyete uğratan eksikliklerdir. Yangın tüplerinin yıllık bakımının yapılmaması, yönlendirme tabelalarının ışıklarının yanmaması veya depolama kurallarına uyulmaması gibi durumlar.

Bu ihlaller için işletmelere tanımlı bir iyileştirme süresi verilir. Örneğin New York›ta bu tür eksiklikler için işletmelere idari ceza kesilmeden önce standart olarak 35 günlük «İyileştirme Süresi» (Cure Period) tanınmaktadır (New York City Fire Department [FDNY], 2024).

Kategori 3: Tali (İdari) İhlaller (Minor/Administrative Defects):

Kayıt tutma eksiklikleri veya evrak düzensizlikleri gibi durumlardır. “Kusur Bildirimi” düzenlenerek idari uyarı verilir, acil kapatma veya ağır para cezası uygulanmaz.

“Yangın Nöbeti” (Fire Watch) Kurumu ABD sisteminin Türk hukukundan ayrışan en önemli “esneklik ve uyum” mekanizması, kritik sistem arızalarında devreye sokulan “Fire Watch” (Yangın Nöbeti) kurumudur. 2021 Seattle Yangın Kodu’nun benimsediği Uluslararası Yangın Kodu (International Fire Code §901.7) ile NFPA 72’ye göre; faaliyetteki bir işyerinde veya yaşam alanında (örneğin bir otelde) yangın alarm sistemi 24 saatlik süre içinde 4 saatten, otomatik yağmurlama (sprinkler) sistemi ise 10 saatten fazla geçici bir arıza nedeniyle devre dışı kalırsa, binanın tamamen tahliye edilmesi gerekmez. Ancak işletmenin açık kalabilmesi için mülk sahibinin, itfaiye onaylı, tek görevi binada sürekli devriye gezerek yangın tehlikesi aramak ve manuel tahliyeyi sağlamak olan «Yangın Nöbetçileri» görevlendirmesi yasal bir zorunluluktur (National Fire Protection Association [NFPA], 2021; Seattle Department of Construction and Inspections, 2021). Bu geçici önlem, arızalı sistem tamir edilene kadar can güvenliğini sağlarken, ticari faaliyetin orantısız bir şekilde durdurulmasını da engeller.

ABD hukuku; eksiklikleri risk düzeyine göre “Kritik, Önemli, Tali” olarak net bir şekilde sınıflandırıp, bunlara “Derhal Mühürleme, 35 Gün Süre Verme veya Uyarı” gibi kesin yasal sonuçlar bağlamıştır. Ayrıca “Yangın Nöbeti” gibi geçici önlemlerle sistem arızalarında can güvenliğini ikame edecek hukuki enstrümanlar geliştirerek Türk hukukundaki mevzuat boşluğunu giderecek çok sistematik bir model sunmaktadır.

D. Süresinde Giderilmeyen Eksiklikler İçin Kademeli ve Tanımlı Yaptırım Hükmü Bulunup Bulunmadığı

Türk mevzuatında, denetimlerde tespit edilen ve verilen süre içinde giderilmeyen yangın güvenliği eksiklikleri için uygulanacak yaptırımlar net bir “kademelendirme” silsilesine bağlanmamıştır.

Mevcut uygulamada, verilen sürede eksikliğini gidermeyen bir işletmeye İmar Kanunu veya Belediye Kanunu kapsamında idari para cezası kesilebilmekte veya doğrudan işyeri ruhsatı iptal edilerek mühürleme yapılabilmektedir (3194 sayılı İmar Kanunu, 1985; 5393 sayılı Belediye Kanunu, 2005). Ancak ilk uyarıdan mühürlemeye giden bu yolda; ceza miktarlarının ihlalin tekrarına göre otomatik olarak katlanmasını sağlayan veya yaptırımı idarenin inisiyatifinden çıkarıp objektif bir merdivene oturtan öngörülebilir ve yasal olarak tanımlanmış bir “kademeli yaptırım cetveli” bulunmamaktadır.

ABD hukuku, süresinde giderilmeyen ihlaller için yaptırım uygulamasında öngörülemezliği ve süreçlerin sonuçsuz kalmasını engelleyen, “Kademeli ve Tanımlı Yaptırım Merdiveni” geliştirmiştir:

New York İtfaiyesi, mülk sahibine tanıdığı 35 günlük “İyileştirme Süresi” dolmasına rağmen eksiklik giderilmemişse, bizzat ceza kesmez. Bunun yerine ihlal dosyası, itfaiyeden tamamen bağımsız bir idari mahkeme olan “New York İdari Yargılama ve Duruşma Ofisi”ne (OATH) sevk edilir. OATH mevzuatı gereği yaptırımlar kusursuz bir kademeye bağlanmıştır: İlk ihlalde standart taban ceza uygulanır. Aynı binada aynı ihlal giderilmemekte ısrar edilirse veya tekrarlanırsa, sistem otomatik olarak “Ağırlaştırılmış Cezalar” rejimine geçer ve ceza miktarları her tekrarda katlanarak artar (New York City Fire Department [FDNY], 2024).

2021 Seattle Fire Code, “Uyum Emri”ne (Order to Comply) süresi içinde uyulmamasının hukuki sonuçlarını birbirini tamamlayan seçenekler hâlinde düzenlemiştir. İlk seçenek, ihlalin başladığı andan uyum sağlanana kadar işleyen ve günlük bin dolara kadar çıkabilen birikimli “Sivil Ceza”dır; bu ceza şehir adına açılacak bir davayla tahsil edilir. İkinci seçenek, sivil cezaya alternatif olarak Şehir Başsavcılığınca yürütülen cezai takiptir; bu yolda her bir gün ayrı bir suç sayılır. Üçüncü olarak, denetim, test ve raporlama yükümlülüklerinin ihlali maktu tutarlı idari cezalara bağlanmış olup itiraz bağımsız bir sınav memuru önünde karara bağlanır.

Bunlardan ayrı olarak, yapı "güvensiz yapı" niteliği kazanmışsa itfaiye eksikliği bina sahibinin yerine resen giderebilir ve yaptığı masrafı yüzde on beş idari gider ilavesiyle, taşınmaz üzerine tapu siciline şerh edilen özel bir yükümlülük (haciz) olarak yansıtabilir (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

Federal hukukta çok daha farklı ve etkili bir yaptırım kademesi mevcuttur. 15 U.S. Code § 2227 uyarınca, eğer bir bina sahibi öngörülen sürede binasına zorunlu yangın güvenlik sistemlerini (sprinkler vb.) kurmazsa, yaptırım sadece para cezası ile sınırlı kalmaz. Federal yasalar, herhangi bir federal kurumun bu güvenlik standartlarını karşılamayan binaları kiralamasını, kullanmasını veya bu binalara federal fon/kredi sağlamasını (belirli kademeli istisnalar saklı kalmak üzere) kural olarak yasaklar (Legal Information Institute, t.y.). Bu ticari boykot, bina sahiplerini süresi içinde eksiklikleri gidermeye zorlayan en güçlü yaptırımlardan biridir.

E. Denetim Sonuçlarının Raporlanması İçin Standartlaşmış Form Bulunup Bulunmadığı

Türk hukukunda Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ve ilgili mevzuatta, gerçekleştirilen yangın güvenliği denetimlerinin sonuçlarını kayıt altına almak için ülke genelinde bağlayıcı olan, standartlaştırılmış bir "Denetim Raporu Formu" bulunmamaktadır.

Mevcut uygulamada, Türkiye'deki farklı belediyelerin itfaiye daire başkanlıkları veya yapı kontrol müdürlükleri, denetim sonuçlarını kendi iç yönergeleriyle oluşturdukları birbirinden tamamen farklı şablonlarla raporlamaktadır. Bu standardizasyon eksikliği; denetim verilerinin ulusal çapta toplanmasını, binaların yangın risk haritalarının çıkarılmasını ve denetçiler arasında objektif bir değerlendirme birliği (örneğin bir denetçinin "uygun" bulduğunu diğerinin "eksik" bulmasının önüne geçilmesi) sağlanmasını imkânsız hale getirmektedir.

ABD yangın güvenliği hukukunda ise denetimlerin kişisel yoruma kapalı, objektif ve ölçülebilir olması için "Raporlamada Tam Standardizasyon" ilkesi benimsenmiştir. Bu standartlaşma üç farklı koldan sağlanmaktadır:

Sistemin temelini oluşturan Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA), her bir sistem için spesifik denetim formları yayınlar. Örneğin; NFPA 25 standartları su bazlı söndürme sistemleri için, NFPA 72 ise yangın alarm sistemleri için ülke çapında kabul gören matbu ve dijital "Denetim, Test ve Bakım" (ITM - Inspection, Testing, and Maintenance) formlarını içerir (National Fire Protection Association [NFPA], 2021). Özel denetim firmaları ve devlet müfettişleri denetimlerini bu evrensel formlardaki kontrol listelerine göre yapmak zorundadır.

Büyük şehirlerin itfaiye departmanları bu formları kendi yerel mevzuatlarına entegre ederek kullanımını zorunlu tutar. New York İtfaiyesi, denetim ve test taleplerinin, belge başvurularının ve düzeltme beyanlarının tek elden yürütülmesi için "FDNY Business" isimli merkezî bir dijital portal kurmuş; bu işlemlerin portal üzerindeki standart elektronik formlarla yapılmasını zorunlu tutmuştur. Denetim ve test kayıtları ise en az üç yıl süreyle binada tutulur ve idarenin talebi hâlinde ibraz edilir (New York City Fire Department [FDNY], 2024).

Güncel 2021 Seattle Fire Code, denetim raporlarının standardizasyonunu hukuki bir zorunluluk olarak kodifiye etmiştir. Kodun 109.3 numaralı hükmü, yetkili yangın görevlisine denetim, test ve bakım kayıtlarının biçim ve formatını belirleme yetkisi tanımakta; kayıtların en az üç yıl süreyle binada tutulmasını, talep hâlinde idareye ibraz edilmesini ve idarenin belirli kayıtların kendisine sunulmasını isteyebilmesini öngörmektedir. 901.6.3 numaralı hüküm de sistem denetim, test ve bakım kayıtlarının muhafazasını ve talep üzerine idareye verilmesini emreder. Bu yetkiye dayanılarak, test raporlarının Seattle standardı formlarla ve merkezî bir elektronik raporlama sistemi üzerinden bildirilmesi zorunlu tutulmuştur. Raporların öngörülen süre içinde bildirilmemesi, kodun 112.4 numaralı bölümü uyarınca maktu idari para cezasına bağlanmış

bir ihlal teşkil eder ve itiraz üzerine bağımsız bir sınav memuru (Hearing Examiner) önünde karara bağlanır (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

F. Yetki Çatışması Sorunlarının Nasıl Çözüldüğü

Mevcut sistemde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY, 2007), 3194 sayılı İmar Kanunu (1985) ve İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik (2005) ekseninde; Büyükşehir Belediyeleri İtfaiye Daire Başkanlıkları, ilçe belediyelerinin Yapı Kontrol/İmar Müdürlükleri ve Ruhsat Denetim Müdürlükleri arasında yetki sınırları kesin hatlarla çizilmemiştir. Bir binanın yangın güvenliği açısından yeterliliğine ilişkin itfaiye görüşünün ruhsat sürecindeki bağlayıcılığının ve periyodik denetimler sonucunda nihai idari yaptırımı hangi kurumun uygulayacağının mevzuatta açıkça düzenlenmemiş olması, uygulamada tereddütlere ve kurumlar arası yetki sınırlarının belirsizleşmesine yol açmaktadır.

ABD hukuku, hem normlar arası çatışmayı hem de kurumlar arası yetki karmaşasını engellemek için son derece net, evrenselleşmiş hukuki doktrinler ve kurumsal işbölümü mekanizmaları geliştirmiştir:

ABD sisteminde bir alanda kimin son sözü söyleyeceği, NFPA 101 ve diğer ulusal kodlarda tanımlanan "Authority Having Jurisdiction" (AHJ - Yetkili Merci) kavramı ile baştan ilan edilir (National Fire Protection Association [NFPA], 2021). Yetki çatışmasını önlemenin en temel yolu, Yapı Departmanları ile İtfaiye Departmanlarının yetki alanlarının konusuna göre "statik" ve "aktif" olarak ikiye bölünmesidir. Örneğin New York'ta; binanın duvar kalınlığı, taşıyıcı kolonları ve mimari kütlesi üzerindeki nihai yetki NYC Yapı İşleri Dairesi'nde iken; yangın alarm panelleri, otomatik söndürme sistemleri ve tahliye organizasyonu üzerindeki nihai yetki (AHJ) kesinlikle New York İtfaiyesi'ndedir. FDNY'nin mekanik/aktif sistemler üzerindeki onayı olmadan DOB genel iskân veremez; böylece iki kurum birbiriyle çatışmaz, birbirinin ön şartı olarak çalışır (City of New York, t.y.). Aynı net işbölümü 2021 Seattle Fire Code uygulamasında da SDCI ile Seattle İtfaiyesi arasında yasal sınırlarla güvence altına alınmıştır (Seattle Department of Construction and Inspections, 2021).

ABD'nin federal yapısı gereği bir bina aynı anda Federal yasalara, Eyalet Yangın Koduna ve Şehir Yangın Koduna tabi olabilir. Farklı mevzuatların birbiriyle çelişmesi durumunda NFPA 101, öncelikle birden fazla kullanım sınıfı içeren (karma kullanımlı) yapılar bakımından bir kural öngörür: kullanımlar yeterince ayrılmamışsa, ilgili kullanımların en sıkı/en kısıtlayıcı gerekleri yapının tamamına uygulanır (§6.1.14). Ayrıca NFPA 101 ile atıf yapılan bir standart arasında çelişki bulunması hâlinde NFPA 101 esas alınır ve özel hüküm genel hükme üstün tutulur (NFPA, 2021). Bu evrensel ilke, mahkemelerin ve denetçilerin normlar hiyerarşisinde zaman kaybetmesini ve kurumların yetki tartışmasına girmesini anında engeller.

New York gibi şehirlerde, itfaiye ile mülk sahibi veya diğer kurumlar arasında yangın kodunun yorumlanmasına dair bir uyuşmazlık çıkarsa, itfaiyenin kestiği cezalar ve uyuşmazlıklar "New York İdari Yargılama ve Duruşma Ofisi" (OATH) adlı bağımsız idari mahkemede çözülür. Bu durum, idarenin hem suçlayıcı hem de yargılayıcı olmasından doğan kurumsal çatışmaları önler (New York City Fire Department, t.y.).

SONUÇ

Karşılaştırmalı inceleme, Türk hukukundaki yangın güvenliği denetimi boşluklarının; iskân sonrası proaktif periyodik denetim eksikliği, eksikliklerin giderilmesi için standart süre yokluğu, risk esaslı kategorizasyon ve kademeli yaptırım cetvelinin bulunmaması, standart denetim formunun olmaması ve kurumlar arası yetki çatışması, ABD federal ve yerel hukukunda sistematik çözümlere kavuşturulduğunu göstermektedir.

Bu bulgular ışığında Türk mevzuatı için önerilen risk esaslı model şu bileşenlerden oluşmaktadır: (i) iskân sonrası dönemi kapsayan, kullanım sınıfı ve risk düzeyine göre periyotlandırılmış, yasal takvime bağlı proaktif periyodik denetim zorunluluğu; (ii) itfaiyenin sınırlı personel kapasitesini dengeleyen, akredite (örneğin NICET benzeri) lisanslı özel firmalarca yapılan ve merkezî dijital portala yüklenen üçüncü taraf test ve raporlama sistemi.

Önerilen modelin ikinci ayağı, eksikliklerin risk düzeyine göre "Kritik (Acil ve Yakın Tehlike), Önemli ve Tali" olarak sınıflandırılması ve her kategoriye önceden tanımlı hukuki sonuçların (derhal mühürleme/boşaltma emri, standart iyileştirme süresi veya idari uyarı) bağlanmasıdır. Böylece takdir yetkisinin kapsamı daraltılarak uygulama birliği ve öngörülebilirlik sağlanmakta; hem idareye hem de mülk sahibine net bir hukuki çerçeve sunulmaktadır.

Modelin üçüncü bileşeni, süresinde giderilmeyen ihlaller için ilk uyarıdan mühürlemeye uzanan kademeli ve tanımlı bir yaptırım cetveli ile tekrarlanan ihlallerde katlanarak artan cezalar rejimidir. Dördüncü bileşen; yangın alarmı veya sprinkler gibi kritik sistemlerin geçici arızalarında binanın orantısız biçimde tahliyesini önleyen, itfaiye onaylı "Yangın Nöbeti" (Fire Watch) kurumudur. Beşinci bileşen ise; NFPA 25 ve NFPA 72 benzeri, ülke çapında bağlayıcı standart denetim, test ve bakım (ITM) formları ile bunların merkezî dijital sisteme işlendiği bir raporlama altyapısıdır.

Son olarak, kurumlar arası yetki çatışmasının giderilmesi için ABD'deki "Yetkili Merci" (AHJ) yaklaşımına benzer biçimde, yapı (statik) ve yangın (aktif sistemler) yetkilerinin net sınırlarla ayrılması ve itfaiyenin olumlu görüşü iskânın ön şartı haline getirilmesi; norm çatışmalarında ise "can güvenliğini en üst düzeye çıkaran en sıkı hükmün uygulanması" ilkesinin benimsenmesi önerilmektedir. Bu bileşenlerin BYKHY ve ilgili imar mevzuatına entegrasyonu, Türkiye'de iskân sonrası denetim boşluğunu kapatacak bütüncül ve uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 1002 – Hızlı Destek Programı kapsamında desteklenen [Proje No: 125K548] numaralı "Binalarda Yangın Güvenliği Denetiminin Hukuki Boyutuyla İncelenmesi" başlıklı proje kapsamında elde edilen bulgulardan üretilmiştir. Sağladığı destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Arlington County Government. (2025). Arlington County code chapter 8.1: Fire prevention code. https://www.arlingtonva.us/Government/Departments/Fire/Office-of-the-Fire-Marshal/Inspections-Permits/High-Rise-Structures-Guidelines-and-Codes
- Belediye Kanunu, 5393 sayılı (2005). Resmî Gazete (Sayı: 25874, 13 Temmuz 2005). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5393&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007). Bakanlar Kurulu Kararı 2007/12937. Resmî Gazete (Sayı: 26735, 19 Aralık 2007). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm
- Chicago Fire Department (CFD). (2025). Fire prevention. City of Chicago. https://www.chicago.gov/city/en/depts/cfd/provdrs/prevent.html
- City of Chicago. (t.y.). Fire prevention bureau information. https://www.chicago.gov/city/en/depts/cfd/provdrs/prevent/svcs/fire_prevention_bureau_information.html
- City of New York. (t.y.). Certification for and approval of fire alarm system installations. NYC Rules. ht-

tps://rules.cityofnewyork.us/rule/certification-for-and-approval-of-fire-alarm-system-installations/
- City of Seattle. (2021). 2021 Seattle fire code: Chapter 11 – Construction requirements for existing buildings. https://seattle.gov/documents/Departments/SDCI/Codes/SeattleFireCode/2021SFCChapter11.pdf
- Federal Fire Prevention and Control Act of 1974, Public Law 93-498 (1974). https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-1847/pdf/COMPS-1847.pdf
- Fire safety systems in federally assisted buildings, 15 U.S.C. § 2227 (2023). https://www.govinfo.gov/app/details/USCODE-2023-title15/USCODE-2023-title15-chap49-sec2227
- Hirschler, M. M. (2017). Procedures for development and revision of codes and standards associated with fire safety in the USA. Fire and Materials, 41(9), 1058–1071. https://doi.org/10.1002/fam.2449
- International Code Council (ICC). (2021). 2021 Seattle fire code.
- İmar Kanunu, 3194 sayılı (1985). Resmî Gazete (Sayı: 18749, 9 Mayıs 1985). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3194&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5
- İşyeri Açma ve Çalışma Ruhsatlarına İlişkin Yönetmelik (2005). Bakanlar Kurulu Kararı 2005/9207. Resmî Gazete (Sayı: 25902, 10 Ağustos 2005). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/08/20050810-4.htm
- Legal Information Institute. (t.y.). 15 U.S. Code § 2227 – Fire administration authorization; Fire safety systems in federally assisted buildings. Cornell Law School. https://www.law.cornell.edu/uscode/text/15/2227
- Municipal Code of Chicago. (2025). Title 15 – Fire prevention (§15-4-030 Annual inspections; §15-4-040 Notice of violation) & §2-36-300. American Legal Publishing. https://codelibrary.amlegal.com/codes/chicago/latest/chicago_il/0-0-0-2676790
- National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA 1: Fire code. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1
- National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA 101: Life safety code. NFPA Publications.
- New York City Council. (1984). Local law no. 16: A local law to amend the administrative code of the city of New York in relation to fire safety requirements in certain buildings. The City of New York.
- New York City Administrative Code, § 15-227 (2023). Violations; order to vacate building. https://nycadmincode.readthedocs.io/t15/c02/
- New York City Department of Buildings (DOB). (t.y.). Certificate of occupancy. https://www.nyc.gov/site/buildings/homeowner/certificate-of-occupancy.page
- New York City Fire Department (FDNY). (2020). Fire alarm system installation, inspection, testing and service company recognition (3 RCNY §115-01). https://www.nyc.gov/site/fdny/business/all-certifications/certificates-fire-alarm-system.page
- New York City Fire Department (FDNY). (2022). New York City fire code: Chapter 3 – General precautions against fire. https://www.nyc.gov/assets/fdny/pdfviewer/viewer.html?file=chapter-3-2022.pdf&section=firecode_2022
- New York City Fire Department (FDNY). (2023). Rules of the Fire Department of the City of New York (Title 3 of the Rules of the City of New York).
- New York City Fire Department (FDNY). (2023). Notice of adoption of amendments to fire department rules: 3 RCNY §104-02, 3 RCNY §104-04, and 3 RCNY §105-01. https://www.nyc.gov/assets/fdny/downloads/pdf/about/final-rule-fire-alarm-professional-certification.pdf
- New York City Fire Department (FDNY). (2024). Business inspections. https://www.nyc.gov/site/fdny/business/inspections/inspections.page
- New York City Fire Department (FDNY). (t.y.). Violations. https://www.nyc.gov/site/fdny/business/violations/violations.page
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2025). Emergency action plans (29 CFR 1910.38). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.38
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2025). Fire prevention plans (29 CFR

1910.39). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.39
- Safety and Environmental Management, 41 C.F.R. pt. 102-80 (2020). https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2020-title41-vol3/pdf/CFR-2020-title41-vol3-part102-id1652.pdf
- Seattle Department of Construction and Inspections (SDCI). (2021). 2021 Seattle fire code: Chapter 1 – Scope and administration. City of Seattle. https://seattle.gov/documents/Departments/SDCI/Codes/SeattleFireCode/2021SFCChapter1.pdf
- U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). (2024). 10 CFR 50.48: Fire protection. https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/part050-0048.html

KISA ÖZGEÇMİŞ

Ayşe ÜTÜK. Öğr. Gör. Dr. Ayşe ÜTÜK, Ankara Üniversitesi Beypazarı Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü Sivil Savunma ve İtfaiyecilik Programı'nda öğretim görevlisi doktor olarak görev yapmaktadır. Yangın güvenliği, itfaiye hizmetleri ile verimlilik ve ilgili güvenlik mevzuatı alanlarında çalışmaktadır.

Leyla Müjde KURT. Doç. Dr. Leyla Müjde KURT, Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Özel Hukuk Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Başlıca çalışma alanları borçlar hukuku, haksız fiil sorumluluğu, ürün sorumluluğu, eser sözleşmeleri ve aile hukukudur. Haksız fiil ile suç bakımından kusur kavramının karşılaştırılması, Avrupa Birliği ürün sorumluluğu direktifi ışığında sorumlu kişilerin belirlenmesi, zarar görenin zararı azaltma külfeti ve noterlerin hukuki sorumluluğu gibi konularda ulusal ve uluslararası dizinlerde taranan çok sayıda makalesi bulunmaktadır. Hâlen "Binalarda Yangın Güvenliği Denetiminin Hukuki Boyutuyla İncelenmesi" başlıklı TÜBİTAK 1002 projesinde yürütücü olarak görev yapmaktadır.

YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNİN TÜRKİYE YANGIN YÖNETMELİĞİ İLE AVRUPA, İNGİLTERE VE ABD MEVZUATLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet BALBALOĞLU
Murat EFİR

ÖZET

Yangın algılama sistemleri, can ve mal güvenliğinin korunmasında kritik öneme sahiptir. Yangını erken aşamada tespit ederek tahliye sürecini hızlandırır ve itfaiyenin zamanında müdahalesini sağlar. Ancak yanlış tasarım, uygun olmayan ekipman veya hatalı tesisat, dedektörlerin yanlış konumlandırılması, yetersiz kapsama alanı, tekrar eden yanlış alarmlar ve bakım eksiklikleri ciddi riskler doğurur. Bu durum özellikle hastaneler, okullar, alışveriş merkezleri ve yüksek katlı binalarda daha kritik hale gelir. Yanlış alarmlar sistem güvenilirliğini zayıflatır ve acil durumda doğru tepkiyi engelleyebilir. Bu nedenle sistemlerin ulusal ve uluslararası standartlara uygun projelendirilmesi, doğru tesis edilmesi ve düzenli bakımının yapılması zorunludur. Yönetmeliklere uygun sistemler yalnızca erken tespit sağlamakla kalmaz; olası felaketlerin etkilerini azaltarak toplum güvenliğini garanti altına alır.

Bu çalışmada, yangın algılama sistemlerinin tasarım, devreye alma, işletim ve bakım süreçleri; Türkiye'de yürülükte bulunan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) ile Avrupa Birliği, İngiltere ve ABD mevzuatları çerçevesinde karşılaştırılacak ve Türkiye mevzuatının geliştirilmesine yönelik öneriler sunulacaktır.

Anahtar Sözcükler: Yangın algılama sistemleri, yangın yönetmeliği, mevzuatlar, uluslararası standartlar

EVALUATION OF FIRE DETECTION SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH TURKISH FIRE REGULATIONS AND EUROPEAN, UK, AND US LEGISLATION

ABSTRACT

Fire detection systems play a vital role in protecting lives and property. They detect fires at an early stage, accelerate evacuation, and enable timely intervention by fire services. However, poor design, unsuitable equipment, or faulty installation such as mispositioned detectors, insufficient coverage, frequent false alarms, or lack of maintenance can create serious risks. This is especially critical in hospitals, schools, shopping centers, and high-rise buildings. False alarms also undermine system reliability and may prevent proper response in real emergencies. Therefore, systems must be designed, installed, and maintained in compliance with national and international standards. Properly regulated systems not only ensure early detection but also minimize the impact of potential disasters, safeguarding public safety.

This study will examine the design, commissioning, operation, and maintenance processes of fire detection systems within the framework of Turkey's Regulation on Fire Protection of Buildings, as well as EU, UK, and US legislation and standards. Comparative evaluations will be presented, along with recommendations for improving Turkey's regulations.

Keywords: Fire detection systems, fire regulations, legislations, international standards

1. GİRİŞ

Günümüzde yapıların daha karmaşık hale gelmesi, yüksek katlı binaların, endüstriyel tesislerin, alışveriş merkezlerinin ve veri merkezlerinin yaygınlaşması, yangın güvenliğinin önemini daha da artırmıştır. Bu nedenle, yangının oluşmasını önlemeye yönelik pasif tedbirlerin yanı sıra, yangını en erken aşamada algılayarak gerekli uyarıları veren aktif yangın güvenlik sistemleri hayati bir rol üstlenmektedir.

Yangın algılama sistemlerinin uluslararası mevzuatlara göre değerlendirilmesinde Avrupa Birliği, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri'nin seçilmesinin temel nedeni, bu bölgelerin tüm yangın güvenliğinde olduğu gibi, yangın algılama sistemleri alanında da dünya genelinde en yaygın kabul gören mevzuat ve standart altyapılarına sahip olmalarıdır.

Dünya genelinde yangın algılama sistemlerine ilişkin düzenlemeler, ülkelerin hukuki yapıları ve teknik yaklaşımlarına göre farklılık göstermekle birlikte, insan hayatının korunması ve yangın güvenliğinin en üst düzeyde sağlanması gibi ortak bir amaca hizmet etmektedir.

Avrupa Birliği, EN54 standart serisi ve Yapı Malzemeleri Tüzüğü (Construction Products Regulation – CPR) ile ürün güvenliği ve standardizasyon konusunda uluslararası referans niteliğinde bir sistem oluşturmuştur.

İngiltere›de Building Regulations, Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 ve BS5839 standartları uygulamaya yön vermekte ve BS5839 standart serisi ve risk değerlendirmesine dayalı yangın güvenliği yaklaşımıyla özellikle tasarım, uygulama ve işletme süreçlerinde örnek gösterilen ülkelerden birisidir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 1896 yılında kurulan NFPA standartları ile performans esaslı yangın güvenliği anlayışını benimseyerek yangın algılama sistemlerinin tasarımı, işletilmesi ve denetlenmesine yönelik kapsamlı bir model ortaya koymaktadır. NFPA, yangın güvenliği alanında dünyanın en eski ve saygın standart geliştirme kuruluşlarından birisidir. NFPA 72 başta olmak üzere NFPA kodları ile yangın algılama sistemlerinin tasarım ve uygulanmasında temel referans olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'de ise BYKHY, TS CEN/TS 54-14 uygulama rehberi ve TS EN54 standartları yangın algılama sistemlerine ilişkin temel teknik ve idari düzenlemeleri oluşturmaktadır. Türkiye'de yürürlükte bulunan düzenlemeler ise büyük ölçüde Avrupa Birliği standartları ile uyumludur. Ancak uygulama ve denetim süreçlerinin geliştirilmesi açısından İngiltere ve NFPA kodlarından önemli ölçüde yararlanılmaktadır. Bu nedenle söz konusu ülkelerdeki düzenlemeler, Türkiye'deki mevcut yapının uluslararası ölçekte değerlendirilmesi ve geliştirilmesine yönelik karşılaştırmalı bir analiz için uygun örnekler olarak seçilmiştir.

Yangın algılama sistemlerinin yalnızca kaliteli ürünlerden oluşması değil; doğru projelendirilmesi, standartlara uygun kurulması, uluslararası akreditasyona sahip yangın laboratuvarları ve Onaylanmış Kuruluşlar tarafından geçerliliği olan sertifikalara sahip olması, düzenli olarak test edilmesi ve periyodik bakımlarının düzenli olarak yapılması da büyük önem taşımaktadır. Yangın algılama sistemlerinin güvenilirliği ve etkinliği, yalnızca kullanılan cihazların teknik özelliklerine değil, aynı zamanda bu sistemleri düzenleyen mevzuat, standart ve teknik rehberlere de bağlıdır. Bu düzenlemeler; hangi yapılarda yangın algılama sistemi kurulacağını, kullanılacak ekipmanların hangi performans kriterlerini sağlayacağını, sistemlerin nasıl tasarlanacağını, devreye alınacağını, test edileceğini ve işletme süresince nasıl bakım göreceğini ayrıntılı olarak tanımlamaktadır.

2. AVRUPA BİRLİĞİ'NDEKİ YÖNETMELİKLER, STANDARTLAR VE MEVZUATLAR

Avrupa Birliği'nde (AB), EN54 standardı, CPR (Construction Products Regulation), EN 16763, CE işaretlemesi, DoP, Akredite Laboratuvarlar ve Onaylanmış Kuruluşların (Notified Body) rolü büyüktür.

Türkiye'de kullanılan yangın algılama ürünlerinin büyük çoğunluğu zaten EN54 standartlarına, CPR (Construction Products Regulation) hükümlerine ve CE işaretlemesine göre piyasaya arz edilmektedir.
Avrupa Birliği (AB), yangın algılama sistemlerine ilişkin teknik düzenlemeleri; Avrupa Birliği tüzükleri, Avrupa standartları (EN), teknik spesifikasyonlar ve ürün belgelendirme süreçlerinden oluşan kapsamlı bir sistem çerçevesinde yürütmektedir. Bu sistemin temel amacı, yangın algılama sistemlerinin tüm üye ülkelerde ortak teknik kriterlere göre tasarlanması, test edilmesi, sertifikalandırılması ve güvenli şekilde kullanılmasını sağlamak ve ayrıca Avrupa genelinde yangın algılama ve yangın alarm sistemlerinin planlama, tasarım, montaj, hizmete alma, kullanım ve bakımı için birleştirilmiş bir mevzuat setini meydana getirmektir.

AB'de yangın algılama sistemleri doğrudan tek bir "yangın yönetmeliği" ile düzenlenmemektedir. Bunun yerine, ürün güvenliği ve performansına ilişkin Avrupa Birliği mevzuatı ile Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından yayımlanan teknik standartlar birlikte uygulanmaktadır.

2.1 Construction Products Regulation (CPR)

Avrupa Birliği'nde yangın algılama sistemlerinin en önemli yasal dayanağını **Construction Products Regulation (EU) No 305/2011 (CPR)** oluşturmaktadır. CPR, yapı malzemelerinin Avrupa Birliği pazarında serbest dolaşımını sağlamak amacıyla hazırlanmış olup, yapı ürünlerinin temel performans özelliklerinin ortak kurallara göre değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yangın algılama sistemlerinde kullanılan;

- Duman dedektörleri
- Isı dedektörleri
- Yangın ihbar butonları
- Sirenler
- Flaşörler
- Giriş-çıkış modülleri
- Kontrol ve gösterge panelleri
- Güç kaynakları

gibi birçok ürün CPR kapsamındadır. CPR kapsamında piyasaya arz edilen ürünlerin harmonize Avrupa standartlarına uygun olarak test edilmesi, performanslarının doğrulanması ve CE işareti ile piyasaya sunulması zorunludur. Böylece Avrupa Birliği ülkelerinde teknik engeller kaldırılarak ortak bir ürün güvenliği sistemi oluşturulmuştur.

2.2 EN54 Standart Serisi

Yangın algılama sistemlerinin teknik gerekliliklerini belirleyen en önemli standart ailesi EN54 serisidir. Avrupa'da yangın algılama sistemlerinin tasarımı ve ürün performansı büyük ölçüde bu standartlara dayanmaktadır.

EN54 standartları, Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından hazırlanmakta ve üye ülkelerde ulusal standart olarak yayımlanmaktadır. Türkiye'de de bu standartlar TS EN54 adıyla uygulanmaktadır.
Yangın algılama sistemlerinde en yaygın kullanılan EN54 standartlarından bazıları aşağıda verilmiştir.

EN54 Standart Kapsamı

EN54-2	Kontrol ve gösterge tertibatı
EN54-3	Yangın alarm cihazları – Ses cihazları
EN54-4	Güç Besleme Teçhizatı
EN54-5	Isı Dedektörleri
EN54-7	Duman dedektörleri-Saçılan ışık, iletilen ışık veya iyonlaşma
EN54-10	Alev dedektörleri
EN54-11	Elle çalıştırılan alarm cihazları
EN54-12	Duman dedektörleri-Optik ışın demetiyle çalışan hat dedektörleri
EN54-13	Sistem bileşenlerinin uyumluluk değerlendirmesi
EN54-14	Planlama, tasarım, kurulum, devreye alma, kullanım ve bakım için rehber
EN54-16	Ses alarm kontrolü ve gösterim donanımı
EN54-17	Kısa devre izolatörleri
EN54-18	Giriş/çıkış cihazları
EN54-20	Duman çekmeli dedektörler
EN54-22	Hat tipi ısı dedektörleri
EN54-23	Görüntülü alarm cihazları
EN54-25	Radyolink kullanan bileşenler
EN54-26	Karbon monoksit sensörleri kullanılan nokta yangın dedektörleri
EN54-27	Duman kanalı dedektörleri
EN54-29	Çoklu yangın dedektörleri-Duman ve ısı sensörlerinin bir kombinasyonu
EN54-30	Çoklu yangın dedektörleri-Karbon monoksit ve ısı sensörlerinin bir kombinasyonu
EN54-32	Sesli alarm sistemlerinin planlanması, tasarımı, kurulumu, devreye alınması, kullanımı

Bu standartlar yalnızca ürünlerin teknik performansını belirlemekte olup, genel olarak sistem tasarımına ilişkin ayrıntıları içermez. Tasarım konusu, sadece EN54-14 standardında mevcuttur.

2.3 CEN/TS 54-14

EN54 serisinin en önemli standardı diyebiliriz. Yangın algılama sistemlerinin tasarım, kurulum, devreye alma, bakım ve periyodik kontrollerine ilişkin uygulama esasları TS 54-14 teknik spesifikasyonunda açıklanmaktadır. El Kitabı niteliğindedir.

Bu doküman;

- Dedektör yerleşimi
- Alarm bölgeleri
- Kablo güzergâhları
- Devreye alma
- Fonksiyon testleri
- Kabul işlemleri
- Periyodik bakım
- Dokümantasyon

gibi uygulamaya yönelik teknik kuralları ayrıntılı şekilde tanımlar. Türkiye'de kullanılan TS 54-14 standardının temelini de bu Avrupa dokümanı oluşturmaktadır.

2.4 CE İşaretlemesi

Yangın algılama sistemi bileşenlerinin Avrupa Birliği pazarında satılabilmesi için CE işareti taşıması gerekmektedir. CE işareti; ürünün harmonize Avrupa standardına uygun olduğunu, performansının doğrulandığını, ilgili Avrupa mevzuatına uyduğunu gösteren resmi bir uygunluk işaretidir. Ancak, CE işareti tek başına kalite belgesi değildir. Ürünün belirlenen performans kriterlerini sağladığını ifade eder.

2.5 Declaration of Performance (DoP)

CPR kapsamında piyasaya sunulan her ürün için üretici tarafından bir Performans Beyanı (Declaration of Performance - DoP) hazırlanması zorunludur. DoP belgesinde ürünün kullanım amacı, performans sınıfları, test sonuçları, uygulanan EN standardı, üretici bilgileri, onaylanmış kuruluş bilgileri yer almaktadır. Bu belge sayesinde kullanıcılar ürünün teknik özelliklerini karşılaştırabilmektedir.

2.6 Notified Body (Onaylanmış Kuruluş)

Onaylanmış Kuruluşlar, Avrupa Komisyonu tarafından yetkilendirilen bağımsız belgelendirme kuruluşlarıdır. Görevleri; EN54 testlerinin değerlendirilmesi, fabrika denetimleri, CPR sertifikalarının düzenlenmesi, sürekli gözetim denetimlerinin gerçekleştirilmesi şeklinde özetlenebilir. Applus+, VdS, Kiwa Nederland, Certif ve SGS gibi kuruluşlar yangın algılama sistemleri alanında uluslararası kabul gören Onaylanmış Kuruluşlar arasında yer almaktadır.

2.7 EN 16763 Standardı

EN 16763 standardı, yangın güvenliği sistemleri ile elektronik güvenlik sistemlerinde görev yapan kuruluşların yeterlilik şartlarını tanımlamaktadır. Bu standart; tasarım, kurulum, devreye alma, bakım, teknik personel yeterliliği, organizasyon yapısı, kalite yönetimi gibi konuları düzenlemektedir. Son yıllarda Avrupa'da yalnızca ürünlerin değil, bu ürünleri kuran ve bakımını yapan firmaların yetkinliği de önem kazanmıştır.

Genel Değerlendirme

Avrupa Birliği'nin yangın algılama sistemlerine yönelik yaklaşımı, ürün güvenliği, performans doğrulaması ve standardizasyon esasına dayanmaktadır. CPR ile yasal çerçeve oluşturulurken, EN54 standart serisi teknik performans kriterlerini belirlemekte; CEN/TS 54-14 sistem tasarım ve uygulama esaslarını açıklamakta; EN 16763 ise hizmet sağlayıcı kuruluşların yeterliliğini tanımlamaktadır. Böylece Avrupa Birliği, yalnızca ürünün güvenliğini değil, sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca kalite ve güvenilirliğini hedefleyen bütüncül bir yapı oluşturmuştur. Bu yaklaşım, Türkiye'de uygulanmakta olan birçok teknik düzenlemenin de temelini teşkil etmektedir.

- AB mevzuat hiyerarşisi
  - Avrupa Komisyonu
  - CPR (305/2011)
  - Harmonize EN54 Standartları
  - CE İşaretlemesi + DoP
  - Tasarım (CEN/TS 54-14)

- o Kurulum / Devreye Alma
- o Bakım (EN 16763)

3. İNGİLTERE'DEKİ YÖNETMELİKLER, STANDARTLAR VE MEVZUATLAR

İngiltere, yangın güvenliği konusunda dünyanın en gelişmiş mevzuat altyapılarından birine sahiptir. Yangın algılama sistemlerine ilişkin düzenlemeler; kanunlar, yönetmelikler, uygulama rehberleri ve teknik standartlardan oluşan çok katmanlı bir yapı içerisinde ele alınmaktadır. Bu yapı sayesinde yangın algılama sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması, işletilmesi ve bakımı ulusal ölçekte belirlenmiş teknik kriterlere göre gerçekleştirilmektedir. İngiltere›de yangın algılama sistemlerini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen temel düzenlemeler aşağıda özetlenmiştir.

3.1 Building Regulations 2010 (Yapı Yönetmelikleri)

Building Regulations 2010, İngiltere'de yeni yapılacak binaların ve önemli tadilatların uyması gereken temel yapı kurallarını belirleyen yasal düzenlemedir. Yangın güvenliği bu yönetmeliğin Part B (Fire Safety) bölümünde ele alınmaktadır. Yönetmelik; binalarda güvenli tahliye, yangının yayılmasının sınırlandırılması, itfaiyenin binaya erişimi ve gerekli durumlarda yangın algılama ve alarm sistemlerinin tesis edilmesini zorunlu kılmaktadır. Yönetmelik teknik ayrıntıları doğrudan vermemekte, bunların uygulanması için Approved Document B rehberine atıf yapmaktadır.

3.2 Approved Document B (Fire Safety)

Approved Document B (ADB), Building Regulations'ın yangın güvenliği hükümlerinin nasıl uygulanacağını açıklayan resmi teknik rehberdir. Konutlar (Volume 1) ve konut dışı yapılar (Volume 2) için ayrı düzenlenmiştir. Yangın algılama sistemleri açısından ADB; hangi bina türlerinde otomatik yangın algılama sistemi gerektiği, alarm sistemlerinin hangi standartlara göre tasarlanacağı ve kaçış güvenliğiyle ilişkisi konusunda yol gösterir. ADB, teknik detayların uygulanması için özellikle BS 5839 standart serisine atıfta bulunmaktadır. Doküman 2025 yılında güncellenmiş olup yangın güvenliği hükümleri güncel bina uygulamalarına uyarlanmıştır.

3.3 Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005

İngiltere›de mevcut binaların işletilmesi sırasında yangın güvenliğini düzenleyen en önemli mevzuatlardan biri Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005›tir. Bu düzenleme, konut dışındaki tüm binalar ile çok kullanıcılı konutların ortak alanlarında uygulanmaktadır. Mevzuatın en önemli özelliği, yangın güvenliği sorumluluğunu "Responsible Person (Sorumlu Kişi)" kavramı ile bina sahibi, işveren veya işletmeciye yüklemesidir. Sorumlu kişi; yangın risk değerlendirmesi yapmak, uygun yangın algılama ve alarm sistemlerini kurdurmak, sistemlerin sürekli çalışır durumda olmasını sağlamak, düzenli bakım ve testleri yaptırmak, kullanıcılara gerekli eğitimleri vermek ile yükümlüdür. Bu yaklaşım, İngiltere'deki yangın güvenliği sisteminin temelini oluşturmaktadır.

3.4 Building Safety Act 2022

İngiltere'de 2017 Yılında Londra bölgesinde meydana gelen ve 72 kişinin ölümüne neden olan Grenfell Tower yangınından sonra hazırlanan Building Safety Act 2022, özellikle yüksek riskli binalarda güvenlik kültürünü güçlendirmek amacıyla yürürlüğe girmiştir. Kanun, bina yaşam döngüsünün her aşamasında güvenlik kayıtlarının tutulmasını, tasarım kararlarının izlenebilir olmasını ve bina güvenliğinden sorumlu kişilerin görevlerinin açık şekilde belirlenmesini öngörmektedir.

Yangın algılama sistemleri açısından bu düzenleme; sistemlerin yalnızca kurulmasını değil, yaşam ömrü boyunca doğru şekilde işletilmesini, belgelenmesini ve bakımının izlenmesini zorunlu hale getiren önemli bir reform niteliğindedir.

3.5 BS 5839 Standart Serisi

İngiltere›de yangın algılama sistemlerinin teknik uygulamalarını belirleyen en önemli standart ailesi **BS 5839** serisidir. Bu standartlar yasal zorunluluk olmamakla birlikte, Building Regulations ve diğer resmi dokümanlarda referans gösterildiğinden fiilen ulusal uygulama standardı olarak kabul edilmektedir.

Yangın algılama sistemleri açısından en önemli bölümler şunlardır:

- BS 5839-1: Konut dışı binalarda yangın algılama ve alarm sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması, bakım ve periyodik test esaslarını düzenler.
- BS 5839-6: Konutlarda kullanılacak yangın algılama sistemlerini tanımlar. Alarm kategorileri (LD1, LD2, LD3) ile sistem tipleri bu standartta açıklanmaktadır.
- BS 5839-8: Sesli tahliye (Voice Alarm) sistemlerinin tasarım ve işletme esaslarını belirler.
- BS 5839-9: Acil durum sesli haberleşme (Emergency Voice Communication) sistemlerini kapsar.

BS 5839-1 standardı, dedektör yerleşimi, alarm bölgeleri, kablolama, enerji beslemesi, sistem kategorileri (M, L1-L5, P1-P2), kabul testleri, bakım sıklığı ve periyodik kontroller gibi yangın algılama sistemlerine ilişkin teknik ayrıntıları kapsamlı şekilde açıklamaktadır.

3.6 BS 9999

BS 9999 standardı, binalarda yangın güvenliğinin risk esaslı olarak tasarlanmasına yönelik uygulama rehberidir. Kaçış yolları, bina kullanım sınıfı, insan yoğunluğu ve risk seviyesine göre yangın algılama sisteminin kapsamının belirlenmesine yardımcı olur. Performans esaslı tasarım yaklaşımını destekleyen önemli bir teknik referanstır.

3.7 Fire Risk Assessment Guidance

İngiltere›de yangın güvenliği uygulamalarının temelini risk değerlendirmesi oluşturmaktadır. Fire Risk Assessment rehberleri; bina kullanım amacı, kullanıcı profili ve yangın yüküne göre uygun yangın algılama sistemi kategorisinin belirlenmesine yardımcı olur. Bu rehberler özellikle okul, hastane, otel, ofis ve endüstriyel tesisler gibi farklı yapı türleri için özel öneriler içermektedir.

Genel Değerlendirme

İngiltere›deki yangın algılama sistemlerine ilişkin düzenlemeler incelendiğinde, mevzuatın yalnızca ürün özelliklerini değil; tasarım, risk analizi, kurulum, devreye alma, bakım, kayıt tutma ve işletme süreçlerini de kapsayan bütüncül bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Özellikle BS 5839 standart serisi ile Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 birlikte değerlendirildiğinde, sistemlerin yaşam döngüsü boyunca güvenilir şekilde çalışmasını hedefleyen kapsamlı bir yaklaşım benimsendiği anlaşılmaktadır. Bu yapı, birçok ülke tarafından örnek alınan en gelişmiş yangın algılama sistemi mevzuatlarından biri olarak kabul edilmektedir.

4. AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ'NDEKİ YÖNETMELİKLER, STANDARTLAR VE MEVZUATLAR

ABD, Avrupa'dan oldukça farklı bir yangın güvenliği sistemine sahiptir. Avrupa'da sistem daha çok ürün odaklı (EN54 + CPR) iken, ABD'de performans, uygulama ve yaşam güvenliği odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu nedenle ABD bölümünde yalnızca NFPA 72'yi anlatmak yeterli değildir; yangın algılama sistemlerini etkileyen tüm temel kod ve standartlar birlikte ele alınmalıdır.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), yangın güvenliği alanında dünyanın en kapsamlı teknik standart sistemlerinden birine sahiptir. Avrupa Birliği'nden farklı olarak ABD'de yangın algılama sistemleri tek bir ulusal yönetmelikle düzenlenmemektedir. Bunun yerine; model yapı kodları, yangın kodları ve teknik standartlar birlikte uygulanmaktadır. Bu sistemin temel amacı, yangınların erken algılanması, bina kullanıcılarının güvenli tahliyesi, acil durum ekiplerinin hızlı müdahalesi ve can ile mal kayıplarının en aza indirilmesidir.

ABD'de yangın algılama sistemlerine ilişkin teknik düzenlemeler büyük ölçüde National Fire Protection Association (NFPA) tarafından yayımlanan standartlar ile International Code Council (ICC) tarafından hazırlanan model kodlara dayanmaktadır. Eyaletler ve yerel yönetimler bu kodları kendi mevzuatlarına uyarlayarak yürürlüğe koymaktadır.

4.1 National Fire Protection Association (NFPA)

NFPA, 1896 yılında kurulmuş, yangın ve yaşam güvenliği alanında dünyanın en saygın teknik kuruluşlarından biridir. Kuruluş tarafından yayımlanan standartlar, yalnızca ABD'de değil birçok ülkede de referans olarak kullanılmaktadır. Yangın algılama sistemleri açısından en önemli NFPA standartları şunlardır:

- NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code
- NFPA 70 – National Electrical Code (NEC)
- NFPA 101 – Life Safety Code
- NFPA 1 – Fire Code

Bu standartlar birlikte değerlendirildiğinde, yangın algılama sistemlerinin tasarımından bakımına kadar tüm yaşam döngüsünü kapsamaktadır.

4.2 NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code

NFPA 72, ABD'de yangın algılama ve alarm sistemlerine ilişkin temel teknik standarttır. Yangın algılama sistemlerinin tasarımı, kurulumu, devreye alınması, test edilmesi, denetlenmesi ve bakımına ilişkin ayrıntılı teknik hükümleri içermektedir.

NFPA 72'nin başlıca kapsadığı konular şunlardır:

- Yangın alarm sistemlerinin sınıflandırılması
- Otomatik ve manuel algılama sistemleri
- Duman, ısı, alev ve gaz dedektörleri
- Alarm bildirim cihazları
- Sesli tahliye (Voice Evacuation) sistemleri
- Acil durum haberleşme sistemleri (Emergency Communications Systems)
- İzleme merkezleri ile haberleşme
- Kablolama esasları
- Kabul testleri
- Periyodik test ve bakım prosedürleri
- Dokümantasyon ve kayıt süreçleri

NFPA 72'nin en önemli özelliklerinden biri, sistemlerin yalnızca kurulum aşamasını değil, işletme süresince güvenilirliğinin korunmasını da ayrıntılı şekilde düzenlemesidir. Bu yönüyle dünyanın en kapsamlı yangın algılama standartlarından biri olarak kabul edilmektedir.

4.3 NFPA 70 – National Electrical Code (NEC)

Yangın algılama sistemlerinin elektriksel altyapısı NFPA 70 (National Electrical Code) kapsamında düzenlenmektedir. Bu standart; yangın alarm kablolarının özellikleri, kablo güzergâhları, topraklama, enerji beslemesi, acil durum güç kaynakları, elektriksel güvenlik gibi teknik konuları kapsamaktadır. Yangın alarm sistemlerinin güvenilir şekilde çalışabilmesi için NFPA 72 ile birlikte NFPA 70 hükümlerinin de uygulanması gerekmektedir.

4.4 NFPA 101 – Life Safety Code

NFPA 101, insanların güvenli tahliyesini esas alan yaşam güvenliği standardıdır. Bu standart; hastaneler, okullar, oteller, ofisler, endüstriyel tesisler, toplanma amaçlı yapılar, konutlar gibi farklı bina türlerinde hangi seviyede yangın algılama sistemi gerektiğini belirlemektedir. Yangın algılama sistemi gereklilikleri, bina kullanım amacı, kişi yoğunluğu ve risk seviyesi dikkate alınarak tanımlanmaktadır.

4.5 NFPA 1 – Fire Code

NFPA 1, mevcut binaların işletilmesi sırasında uygulanacak yangın güvenliği kurallarını düzenlemektedir. Yangın algılama sistemleri açısından; sistemlerin sürekli çalışır durumda tutulması, periyodik bakım, denetimler, kayıtların tutulması, arıza yönetimi gibi işletmeye yönelik hükümleri içermektedir.

4.6 UL ve FM Sertifikasyon Sistemi

ABD'de yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğinin sağlanmasında ürün sertifikasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu alandaki en önemli kuruluşlardan biri **UL Solutions (Underwriters Laboratories)** olup, yangın algılama ürünleri için çok sayıda performans standardı yayımlamaktadır.
Bunlardan en yaygın olanları şunlardır:

- UL 268 – Duman dedektörleri
- UL 521 – Isı dedektörleri
- UL 464 – Alarm sirenleri
- UL 864 – Yangın alarm kontrol panelleri

Bunun yanında FM Approvals, özellikle endüstriyel tesislerde kullanılan yangın güvenliği ekipmanlarının test ve sertifikasyonunda uluslararası kabul gören bir diğer kuruluştur. UL ve FM sertifikaları, birçok projede ürün kabulü açısından önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Genel Değerlendirme

Amerika Birleşik Devletleri'nde yangın algılama sistemlerine ilişkin düzenlemeler, birbirini tamamlayan model kodlar ve teknik standartlardan oluşmaktadır. NFPA 72 sistem tasarımı, kurulum, test ve bakım esaslarını belirlerken; NFPA 70 elektriksel altyapıyı, NFPA 101 bina kullanımına göre gerekli güvenlik seviyelerini, NFPA 1 ise işletme sürecindeki yangın güvenliği uygulamalarını düzenlemektedir. Bunlara ek olarak IBC ve IFC model kodları, bina tasarımı ile işletme süreçlerini bütünleştirmektedir. Ürün güvenliği ise UL ve FM gibi bağımsız sertifikasyon kuruluşları tarafından desteklenmektedir.

Bu çok katmanlı yapı sayesinde ABD'de yalnızca yangın algılama cihazlarının teknik performansı değil; sistemlerin tasarımı, uygulanması, işletilmesi, bakım süreçleri ve kullanıcı güvenliği de kapsamlı bir şekilde güvence altına alınmaktadır. Bu yaklaşım, performans esaslı yangın güvenliği anlayışının en gelişmiş örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir.

5. TÜRKİYE'DEKİ YÖNETMELİKLER, STANDARTLAR VE MEVZUATLAR

Türkiye'de yangın algılama sistemlerine ilişkin teknik ve idari düzenlemeler; kanunlar, yönetmelikler, Türk Standartları (TS), Avrupa standartlarının ulusal uyarlamaları ve ilgili teknik rehberlerden oluşmaktadır. Türkiye'nin yangın güvenliği alanındaki teknik altyapısı büyük ölçüde Avrupa Birliği standartları ile uyumlu olup, özellikle EN54 standart serisi ve Yapı Malzemeleri Tüzüğü (Construction Products Regulation - CPR) esas alınmaktadır. Bununla birlikte, yangın algılama sistemlerinin hangi yapılarda zorunlu olduğu, nasıl tasarlanacağı ve uygulanacağı temel olarak ulusal mevzuat kapsamında belirlenmektedir.

5.1 Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)

Türkiye'de yangın güvenliği alanındaki en temel düzenleme, BYKHY'dir. İlk olarak 2002 yılında yayımlanan yönetmelik, 2007 yılında kapsamlı şekilde yenilenmiş ve sonraki yıllarda çeşitli değişikliklerle güncellenmiştir. BYKHY'nin amacı; kamu ve özel sektöre ait tüm yapılarda yangının önlenmesi, yangın sırasında can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi, güvenli tahliyenin sağlanması ve itfaiye müdahalesinin kolaylaştırılmasıdır. Yangın algılama sistemleri açısından yönetmelikte;

- Otomatik yangın algılama sistemlerinin zorunlu olduğu bina türleri,
- Yangın alarm sistemlerinin kurulması gereken yapılar,
- Acil durum uyarı sistemleri,
- Sesli tahliye sistemleri,
- Yangın kontrol merkezleri,
- İtfaiye haberleşme sistemleri,
- Periyodik bakım ve işletme sorumlulukları

gibi temel hükümler yer almaktadır. BYKHY, teknik detayların önemli bir kısmında TS EN54 standartlarına ve TS CEN/TS 54-14 uygulama rehberine atıfta bulunmaktadır.

21 Ocak 2025 tarihinde meydana gelen ve 78 kişinin yaşamını yitirmesine neden olan Bolu Grand Oteli yangınından sonra, daha detaylı hazırlanma sürecinde olan yeni yangın yönetmeliğinin yayınlanması beklenmektedir.

5.2 TS CEN/TS 54-14

Türkiye'de yangın algılama sistemlerinin tasarım, kurulum, devreye alma, bakım ve işletme esaslarını belirleyen en önemli teknik doküman TS CEN/TS 54-14 standardıdır. Bu standart;

- Risk değerlendirmesi,
- Dedektör yerleşimi,
- Alarm bölgeleri,
- Kablolama esasları,
- Kontrol paneli yerleşimi,
- Siren ve flaşör yerleşimleri,
- Devreye alma prosedürleri,

- Kabul testleri,
- Periyodik bakım,
- Arıza yönetimi,
- Dokümantasyon

gibi konuları ayrıntılı olarak açıklamaktadır. TS CEN/TS 54-14, Avrupa'da yayımlanan CEN/TS 54-14 teknik spesifikasyonunun Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından uyarlanmış hâlidir ve uygulamada yangın algılama sistemi projelerinin hazırlanmasında temel referans olarak kullanılmaktadır.

5.3 TS EN54 Standart Serisi

Türkiye'de kullanılan yangın algılama sistemi ekipmanları, Avrupa standartlarının Türk standardı olarak yayımlanan TS EN54 serisine uygun olmak zorundadır. Bu standartlar ürünlerin performans kriterlerini belirlemektedir. TS EN54 serisi standartlar sayesinde Türkiye'de kullanılan ürünlerin Avrupa ile aynı teknik performans seviyesini sağlaması hedeflenmektedir.

5.4 Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (CPR Uyumlu Düzenleme)

Türkiye, Avrupa Birliği ile teknik uyum çalışmaları kapsamında Yapı Malzemeleri Yönetmeliğini yürürlüğe koymuştur. Bu düzenleme, Avrupa Birliği'nin Construction Products Regulation (CPR) hükümleriyle uyumludur. Bu kapsamda yangın algılama sistemlerinde kullanılan ürünlerin, CE işareti taşıması, Performans Beyanı (DoP) hazırlanması, ilgili TS EN standartlarına uygun olması, Onaylanmış kuruluşlar tarafından belgelendirilmesi zorunlu hâle getirilmiştir. Bu düzenleme sayesinde Türkiye'de piyasaya arz edilen yangın algılama ürünlerinin Avrupa Birliği ile teknik uyumu sağlanmaktadır.

5.5 Türk Standartları Enstitüsü (TSE)

Yangın algılama sistemlerine ilişkin standartların hazırlanması, yayımlanması ve ulusal düzeyde uygulanması konusunda Türk Standartları Enstitüsü (TSE) görev yapmaktadır. TSE, Avrupa standartlarını Türk standardı olarak yayımlamak, standart güncellemelerini takip etmek, teknik komitelerde görev almak, uygunluk değerlendirme faaliyetlerini yürütmek gibi görevleri yerine getirmektedir.

5.6 Ürün Belgelendirme ve CE Uygunluğu

Türkiye'de piyasaya sunulan yangın algılama sistemi ürünlerinin büyük bölümü CE işaretli olup, Avrupa Birliği'nin harmonize standartlarına göre belgelendirilmektedir. Ürünlerin piyasaya arzında, CE İşaretlemesi, Performans Beyanı (DoP), Fabrika Üretim Kontrolü (FPC), Onaylanmış Kuruluş (Notified Body) sertifikaları temel uygunluk belgeleri olarak kabul edilmektedir.

5.7 Uygulama ve Denetim

Yangın algılama sistemlerinin projelendirilmesi ve uygulanması; yapı ruhsatı süreçleri, yapı denetim kuruluşları, belediyeler, itfaiye teşkilatları ve ilgili kamu kurumlarının denetimine tabidir. Bununla birlikte, sistemlerin periyodik bakım ve işletme sorumluluğu bina sahibi veya işletmecisine aittir. Yönetmelik, sistemlerin sürekli çalışır durumda tutulmasını zorunlu kılmaktadır.

Genel Değerlendirme

Türkiye'deki yangın algılama sistemlerine ilişkin mevzuat, Avrupa Birliği standartları ile büyük ölçüde uyumlu bir yapıya sahiptir. Özellikle ürün standartları bakımından TS EN54 serisinin benimsenmesi ve Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ile CPR hükümlerine uyum sağlanması önemli bir gelişmedir. Bununla birlikte, uygulamada tasarım yeterliliği, kurulum kalitesi, devreye alma süreçleri, periyodik bakım, denetim ve teknik personel yetkinliği konularında iyileştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

İngiltere›de olduğu gibi risk esaslı yangın güvenliği yaklaşımının daha fazla benimsenmesi, Avrupa Birliği›nde uygulanan EN 16763 standardına benzer şekilde yangın güvenlik sistemleri alanında faaliyet gösteren firmaların ve teknik personelin yeterliliklerinin belgelendirilmesi ve ABD›deki uygulamalarda olduğu gibi periyodik test ile performans doğrulama süreçlerinin daha sistematik hâle getirilmesi, Türkiye›deki yangın algılama sistemlerinin güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artıracaktır.

6. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

- Avrupa Birliği yaklaşımı daha çok ürün güvenliği ve CE uygunluğu odaklıdır.
- İngiltere yaklaşımı risk değerlendirmesi ve yaşam döngüsü yönetimi üzerine kuruludur.
- ABD yaklaşımı ise performans esaslı tasarım, yaşam güvenliği ve işletme sürekliliğini merkeze alır.

Türkiye, İngiltere, Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD), yangın algılama sistemlerinin etkinliğini artırmak amacıyla kapsamlı mevzuat ve standartlar geliştirmiştir. Her ne kadar temel amaç; can ve mal güvenliğini sağlamak, yangının erken algılanmasını sağlamak ve güvenli tahliyeyi mümkün kılmak olsa da, bu hedefe ulaşmak için benimsenen yaklaşımlar farklılık göstermektedir.
Avrupa Birliği, yangın algılama sistemlerinde daha çok ürün güvenliği ve standardizasyon odaklı bir yapı benimsemiştir. Construction Products Regulation (CPR) kapsamında ürünlerin CE işaretine sahip olması, EN54 standartlarına uygunluğu ve Performans Beyanı (DoP) ile belgelendirilmesi zorunludur. Böylece üye ülkelerde ortak teknik kriterler oluşturulmuş ve ürünlerin serbest dolaşımı sağlanmıştır.

İngiltere ise Avrupa standartlarını kullanmakla birlikte, risk değerlendirmesi ve bina güvenliği yaklaşımını ön plana çıkarmaktadır. Building Regulations, Approved Document B ve Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005 birlikte değerlendirildiğinde, yalnızca ürün uygunluğu değil; bina sahibinin sorumluluğu, yangın risk analizi, bakım, periyodik testler ve sistemlerin yaşam döngüsü boyunca güvenilir şekilde işletilmesi esas alınmaktadır. BS 5839 standart serisi ise bu süreçlerin teknik uygulama esaslarını ayrıntılı olarak tanımlamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise sistem, performans esaslı yangın güvenliği anlayışı üzerine kurulmuştur. NFPA 72 başta olmak üzere NFPA standartları ile IBC ve IFC model kodları birlikte uygulanmaktadır. ABD yaklaşımı, sistemlerin tasarımından bakımına kadar tüm süreçleri kapsamakta; özellikle periyodik testler, denetimler, acil durum haberleşmesi ve yaşam güvenliği konularına büyük önem vermektedir. Ayrıca ürün güvenliği, UL ve FM gibi bağımsız sertifikasyon kuruluşları tarafından desteklenmektedir.

Türkiye'nin yangın algılama sistemlerine ilişkin mevzuatı ise büyük ölçüde Avrupa Birliği teknik düzenlemeleri ile uyumludur. BYKHY, TS CEN/TS 54-14 ve TS EN54 standart serisi, sistemlerin tasarım ve uygulanmasına ilişkin temel çerçeveyi oluşturmaktadır. Ayrıca Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ile CE işaretlemesi ve Performans Beyanı uygulamaları Avrupa Birliği ile uyumlu şekilde yürütülmektedir.

Bununla birlikte, karşılaştırmalı değerlendirme sonucunda Türkiye'de ürün standartları bakımından uluslararası düzeyde önemli bir uyum sağlanmış olmasına rağmen; tasarım yeterliliği, uygulama kalitesi, devreye

alma süreçleri, periyodik bakım, teknik personel yetkinliği ve sistem performansının düzenli olarak denetlenmesi konularında gelişime ihtiyaç bulunduğu görülmektedir. İngiltere'nin risk esaslı yönetim anlayışı ile ABD'nin performans odaklı denetim yaklaşımı, Türkiye'deki mevcut sistemin geliştirilmesi açısından önemli örnekler sunmaktadır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak mevzuat düzenlemelerinde yalnızca ürün standartlarına değil, sistemlerin tüm yaşam döngüsünü kapsayan tasarım, uygulama, bakım ve denetim süreçlerine de daha fazla önem verilmesi, yangın güvenliğinin artırılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

[1] Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi. (2011). Regulation (EU) No 305/2011 (Construction Products Regulation – CPR). Official Journal of the European Union.
[2] British Standards Institution (BSI). (2017). BS 5839-1:2017 – Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings – Part 1: Code of Practice for Design, Installation, Commissioning and Maintenance of Systems in Non-Domestic Premises. London.
[3] British Standards Institution (BSI). (2019). BS 5839-6:2019 – Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings – Part 6: Code of Practice for Domestic Premises. London.
[4] British Standards Institution (BSI). (2025). BS 9999: Fire Safety in the Design, Management and Use of Buildings – Code of Practice. London.
[5] CEN (European Committee for Standardization). EN54 Series – Fire Detection and Fire Alarm Systems. Brussels.
[6] CEN (European Committee for Standardization). CEN/TS 54-14 – Fire Detection and Fire Alarm Systems – Guidelines for Planning, Design, Installation, Commissioning, Use and Maintenance. Brussels.
[7] European Commission. Construction Products Regulation (CPR) – Guidance Documents and Harmonised Standards. Brussels.
[8] HM Government. (2010). Building Regulations 2010. London.
[9] HM Government. (2022). Building Safety Act 2022. London.
[10] HM Government. Approved Document B – Fire Safety (Volumes 1 and 2). London.
[11] HM Government. (2005). Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005. London.
[12] International Code Council (ICC). (2024). International Building Code (IBC). Washington, D.C.
[13] International Code Council (ICC). (2024). International Fire Code (IFC). Washington, D.C.
[14] National Fire Protection Association (NFPA). (2025). NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code. Quincy, Massachusetts.
[15] National Fire Protection Association (NFPA). (2023). NFPA 70 – National Electrical Code (NEC). Quincy, Massachusetts.
[16] National Fire Protection Association (NFPA). (2024). NFPA 101 – Life Safety Code. Quincy, Massachusetts.
[17] National Fire Protection Association (NFPA). (2024). NFPA 1 – Fire Code. Quincy, Massachusetts.
[18] Türk Standardları Enstitüsü (TSE). TS CEN/TS 54-14 – Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri – Planlama, Tasarım, Montaj, Devreye Alma, Kullanım ve Bakım Kılavuzu. Ankara.
[19] Türk Standardları Enstitüsü (TSE). TS EN54 Serisi – Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri Standartları. Ankara.
[20] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete.
[21] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB). Resmî Gazete.
[22] Underwriters Laboratories (UL Solutions). UL 268 – Smoke Detectors for Fire Alarm Systems.
[23] Underwriters Laboratories (UL Solutions). UL 521 – Heat Detectors for Fire Protective Signaling Systems.
[24] Underwriters Laboratories (UL Solutions). UL 864 – Control Units and Accessories for Fire Alarm Systems.

[25] FM Approvals. Approval Standard for Fire Alarm Signaling Systems and Components.
[26] Fire Industry Association (FIA UK). Guidance Documents for Fire Detection and Alarm Systems.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Mehmet BALBALOĞLU
1943 yılında Elazığ'da doğmuştur. Evli ve üç çocuk babasıdır; çocuklarından ikisi doktordur. Mesleki kariyerinin önemli bir bölümünü Amerika Birleşik Devletleri'nde sürdürmüş; Boeing Services International, Winnel Brown & Root ve Holmes & Narver bünyesinde, Amerikan Hava Kuvvetleri›ne hizmet veren itfaiye teşkilatlarında 13 yıl Assistant Fire Chief (İtfaiye Amiri Yardımcısı) olarak görev yapmıştır. Kariyeri boyunca Amerikan Hava Kuvvetleri İtfaiyesi'nde Fire Officer (Yangın Subayı) seviyesine yükselmiştir. Yangın güvenliği alanındaki mesleki gelişimini uluslararası eğitimlerle destekleyen Balbaloğlu; Oklahoma State University tarafından verilen NFPA Fire Instructor I ve Fire Officer II sertifikalarına sahiptir. Ayrıca Fransa'daki SEFCRA tarafından düzenlenen üst düzey yönetici eğitim programını başarıyla tamamlayarak sertifika almaya hak kazanmıştır. Görev yaptığı süre boyunca Amerikan Hava Kuvvetleri personeline ve itfaiye teşkilatlarına eğitimler vermiş, 2005 yılından itibaren ise Türkiye'de bağımsız Yangın Danışmanı ve Yangın Eğitmeni olarak faaliyet göstermektedir.

Uzmanlık alanları arasında; Yangın Risk Analizleri, Yangın Yükü Hesabı, Acil Durum ve Acil Eylem Planlarının hazırlanması, Yangın güvenliği danışmanlığı, Yangın eğitimleri yer almaktadır.
Bunlara ilave olarak American Red Cross tarafından verilen kurtarma, deprem ve tahliye eğitimlerine ilişkin sertifikalara sahiptir. Hâlen birçok kamu ve özel sektör kuruluşuna uzun dönemli Yangın Danışmanlığı hizmeti sunmakta; ayrıca İstanbul Medipol Üniversitesi ile İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi'nde 1. Seviye Yangın Eğitici Eğitimi programlarında eğitim vermektedir.

Murat EFİR
Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü mezunudur. Yangın güvenliği sektöründe 16 yılı aşkın süre boyunca; Yangın emniyeti ve güvenliği ile ilgili uluslararası bir firmada görev almıştır. Günümüzde bağımsız Yangın Danışmanı, Yangın Uzmanı ve Yangın Eğitmeni olarak görev yapmakta; bunun yanı sıra yangın algılama sistemleri alanında faaliyet gösteren bir şirkette danışmanlık ve üst düzey yöneticilik faaliyetlerini sürdürmektedir.

Mesleki kariyeri boyunca ulusal ve uluslararası birçok eğitim programına katılmış; yangın güvenliği, risk yönetimi ve yangın risk değerlendirmesi alanlarında çeşitli sertifikalar almaya hak kazanmıştır.
İngiltere›nin Moreton-in-Marsh kentinde bulunan The Fire Service College'da eğitim almış; CFPA Europe (Confederation of Fire Protection Associations Europe) tarafından yetkilendirilen Fire Protection Association (FPA) bünyesinde düzenlenen Fire Risk Assessment Certificate (Yangın Risk Analizi Sertifikası) programını başarıyla tamamlamıştır. Ayrıca, Avrupa genelinde geçerliliğe sahip CFPA Europe Diploma sahibi olup, İngiltere'deki University of Derby tarafından verilen Fire Risk Assessment ve Fire Risk Management eğitimlerini tamamlayarak bu alanlarda sertifika almaya hak kazanmıştır. Uluslararası standartlar, yangın güvenliği mevzuatı, yangın risk analizleri, yangın algılama sistemleri, yangın güvenliği eğitimleri ve yangın danışmanlığı konularında çalışmalarını sürdürmekte; kamu kurumları ve özel sektör kuruluşlarına eğitim, danışmanlık ve teknik destek hizmetleri vermektedir.

YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNDE DEDEKTÖR YERLEŞİMİNİN SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİ

Fulden TOSUN

ÖZET

Yangın algılama sistemleri, yangının erken aşamada tespit edilmesini sağlayarak can güvenliğinin sağlanmasında ve mal kaybının azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak sahada gerçekleştirilen birçok projede, tasarım ve uygulama aşamalarında yapılan hatalar sistemlerin etkinliğini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Özellikle dedektör yerleşimlerinin hatalı planlanması, mahal özelliklerine uygun olmayan dedektör tiplerinin seçilmesi, yüksek tavanlı hacimlerde duman tabakalaşmasının dikkate alınmaması ve yangın algılama sisteminin diğer yangın güvenlik sistemleri ile yeterli düzeyde entegre edilmemesi başlıca tasarım ve uygulama hataları arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, duman, ısı, alev, ışın tipi duman dedektörleri (beam) ve aktif hava örneklemeli algılama sistemlerinin (aspirasyon tipi) seçimi ile bu dedektörlerin; tavan yüksekliği, hava akışı, mahal geometrisi ve kullanım amacı gibi parametrelere bağlı olarak konumlandırılması ele alınmaktadır. Özellikle yüksek tavanlı hacimler, atriumlar ve hava hareketinin yoğun olduğu alanlarda standart yerleşim yaklaşımlarının yetersiz kalabildiği ve performans temelli değerlendirmelerin gerekliliği vurgulanmaktadır. Çalışma kapsamında, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) ile uluslararası standartlarda (NFPA 72 ve TS EN 54) tanımlanan temel kriterler değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, dedektör yerleşiminin yalnızca standart mesafe kriterlerine göre değil, mahalin fiziksel ve operasyonel koşullarını dikkate alan mühendislik yaklaşımıyla belirlenmesi gerektiği ve bu yaklaşımın sistem performansını doğrudan iyileştirdiği ortaya konmaktadır.

Anahtar sözcükler: Yangın algılama sistemi, dedektör yerleşimi, duman tabakalaşması, erken algılama, yanlış alarm

THE EFFECT OF DETECTOR PLACEMENT ON SYSTEM PERFORMANCE IN FIRE DETECTION SYSTEMS

ABSTRACT

Fire detection systems are critical in ensuring life safety and reducing property damage by detecting fires at an early stage. However, in many projects, mistakes made during the design and implementation phases can significantly reduce the effectiveness of the systems. Among the most critical issues are inappropriate detector placement, the selection of detector types that do not align with the characteristics of the protected environment, neglecting smoke stratification effects in high-ceiling spaces, and insufficient integration with other fire protection systems.

This study examines the selection of smoke, heat, flame, beam type smoke detectors and air sampling detection systems (aspiration type), as well as their placement depending on parameters such as ceiling height, airflow, room geometry, and intended use. The study specifically highlights the inadequacy of stan-

dard layout approaches in high-ceilinged spaces, atriums, and areas with intense air movement, emphasizing the need for performance-based evaluations. In this context, the criteria defined in the Regulation on the Protection of Buildings from Fire and international standards (NFPA 72 and EN 54) are evaluated.

As a result, it is shown that detector placement should be determined not only according to standard distance criteria, but also through an engineering approach that considers the physical and operational conditions of the space, and that this approach directly improves system performance.

Keywords: Fire detection system, detector placement, smoke stratification, early detection, false alarm

1. GİRİŞ

Yangın algılama sistemleri, yangının başlangıç aşamasında tespit edilmesini sağlayarak can güvenliğinin korunması, tahliyenin zamanında başlatılması ve yangının büyümeden kontrol altına alınabilmesi açısından bina yangın güvenliğinin en önemli bileşenlerinden biridir. Algılama sistemlerinin başarısı yalnızca kullanılan ekipmanın kalitesine değil, doğru dedektör tipinin seçilmesine, dedektörlerin uygun konumlandırılmasına ve sistemin bina koşullarına uygun olarak tasarlanmasına bağlıdır.

Sahada, standartlarda belirtilen yerleşim mesafelerinin yeterli mühendislik değerlendirmesi yapılmaksızın uygulanması; yanlış dedektör tipi seçimi, uygun olmayan montaj yükseklikleri, hava akımlarının dikkate alınmaması ve bina kullanım amacına uygun tasarım yapılmaması gibi nedenler yangın algılama sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek hacimli yapılar, atriumlar, depolar, veri merkezleri ve endüstriyel tesislerde bu hatalar yangının geç algılanmasına veya yanlış alarmlara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada farklı dedektör teknolojilerinin kullanım alanları, dedektör yerleşimini etkileyen fiziksel parametreler ile ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen yerleşim kriterleri değerlendirilmektedir.

2. YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DEDEKTÖRLER

2.1. Noktasal Tip Dedektörler

2.1.1. Duman Dedektörleri

Noktasal duman dedektörleri, yangın algılama sistemlerinde en yaygın kullanılan otomatik algılama elemanlarıdır. Çalışma prensipleri, yanma sonucu oluşan duman partiküllerinin dedektör algılama odasına ulaşarak burada optik veya iyonizasyon prensibine göre algılanmasına dayanır.

Genel olarak, duman dedektörleri çoğu yangına ısı dedektörlerinden daha hızlı yanıt verir, ancak uygun olmayan bir uygulamada kullanıldığında yanlış alarm verme olasılığı daha yüksek olabilir. Örneğin; normal işletme koşullarında duman, buhar, toz veya benzeri çevresel etkilerin oluştuğu mahallerde duman dedektörlerinin yanlış alarm verme olasılığı artmaktadır. Bu nedenle, bu tür mahallerde ısı veya alev dedektörleri gibi alternatif algılama teknolojilerinin kullanımı değerlendirilmelidir.

Benzer şekilde, yangın sırasında duman oluşmasının beklenmediği veya oluşacak duman miktarının yetersiz kalacağı mahallerde, duman dedektörleri yerine ısı veya alev dedektörleri tercih edilmelidir.

2.1.2. Isı Dedektörleri

Isı dedektörleri, ortam sıcaklığındaki değişimleri izleyerek yangını algılayan dedektörlerdir. Çalışma prensibine göre belirlenen eşik sıcaklığına ulaşıldığında alarm veren sabit sıcaklık tipinde veya sıcaklığın belirli bir süre içerisinde hızlı yükselmesini algılayan sıcaklık artış hızı (rate-of-rise) tipinde çalışabilir.

Duman oluşumunun normal çalışma şartlarında beklenebildiği mutfak, otopark, kazan dairesi, jeneratör odaları ve üretim tesisleri gibi mahallerde yanlış alarm riskini azaltmak amacıyla tercih edilir. Isı dedektörleri, duman dedektörlerine göre daha geç alarm üretmelerine rağmen diğer yangın dedektörü türlerine göre olumsuz çevre koşullarına karşı daha fazla direnç göstermektedir.

2.1.3. Çok Kriterli (Multi-Criteria / Multi-Sensör) Dedektörler

Çok kriterli (multi-sensör) dedektörler, birden fazla fiziksel parametreyi aynı anda değerlendirerek alarm kararı veren gelişmiş yangın algılama cihazlarıdır. Bu dedektörlerde duman, ısı ve CO sensörlerinin farklı kombinasyonları tek bir gövdede bir araya getirilebilmektedir. Farklı sensörlerden elde edilen veriler, üreticiye özgü algoritmalarla birlikte analiz edilerek gerçek yangın belirtileri daha güvenilir şekilde değerlendirilir. Bu sayede yanlış alarm olasılığı azaltılırken, farklı yangın gelişim senaryolarında daha erken ve güvenilir algılama sağlanabilir. Çok kriterli dedektörler, özellikle yüksek güvenilirlik gerektiren yapılarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Duman + ısı kombinasyonuna sahip dedektörler; elektrik odaları, UPS odaları, pano odaları, jeneratör odaları, kablo galerileri ve benzeri teknik mahallerde, yanlış alarm riskini azaltırken yangının erken algılanmasını sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Duman + CO kombinasyonuna sahip dedektörler, kapalı otopark ve tünel gibi karbon monoksit oluşma riski bulunan alanlarda uygulamanın gerekliliklerine bağlı olarak tercih edilebilmektedir.

2.2. Özel Amaçlı Dedektörler

2.2.1. Işın Tipi (Beam) Duman Dedektörleri

Beam dedektörleri, verici ve alıcı arasında gönderilen kızılötesi ışının duman nedeniyle zayıflaması prensibiyle çalışmaktadır. Bu sistemler özellikle büyük açıklıklı ve yüksek tavanlı hacimlerde noktasal dedektörlere göre daha ekonomik ve etkili bir çözüm sunmaktadır.

Kullanım alanları; Atriumlar, Depolar, Spor salonları, Havalimanları Alışveriş merkezleri Fabrikalar, Hangarlar olarak sıralanabilir.

Beam dedektörlerinde bina oturmaları, titreşim, yanlış hizalama ve yoğun toz oluşumu performansı etkileyebileceğinden otomatik hizalama özellikli modeller tercih edilebilmektedir.

2.2.2. Aktif Hava Örneklemeli (Aspirasyonlu) Duman Dedektörü

Aspirasyonlu duman algılama sistemleri (ASD), aktif hava örnekleme prensibiyle çalışan ve günümüzde en yüksek hassasiyete sahip yangın algılama teknolojileri arasında yer almaktadır. Sistem, fan yardımıyla ortam havasını boru ağı üzerinden sürekli olarak merkezi algılama ünitesine taşımakta ve lazer tabanlı sensörler aracılığıyla analiz etmektedir. Bu çalışma prensibi sayesinde duman, ortamda gözle fark edilemeyecek kadar düşük konsantrasyonlara ulaştığında dahi algılanabilmekte ve yangın henüz başlangıç aşamasındayken alarm üreterek erken müdahale olanağı sağlamaktadır.

NFPA 76' da hava örneklemeli sistemler, algılama performansına göre Class A (VEWFD), Class B (EWFD) ve Class C (SFD) olmak üzere üç sınıfta tanımlanmaktadır [1]. Class A sistemleri en yüksek hassasiyet seviyesini sağlayarak çok düşük duman konsantrasyonlarını algılayabilmekte ve özellikle veri merkezleri, telekom odaları ile temiz odalar gibi kritik mahallerde tercih edilmektedir. Class B sistemleri erken yangın uyarısı gerektiren atriumlar, hastaneler ve müzelerde kullanılırken, Class C sistemleri ise geleneksel duman algılama seviyesine yakın performans sunarak depo ve arşiv gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu performans sınıfları ve tipik kullanım alanları Tablo 1' de özetlenmiştir.

Sınıf (NFPA 76)	Algılama Performansı	Maksimum Taşıma Süresi	Tipik Uygulama Alanları
Class A (VEWFD)	Çok yüksek hassasiyet (çok düşük duman konsantrasyonlarının algılanması)	< 60 saniye	• Veri merkezleri • Telekom odaları • Temiz odalar
Class B (EWFD)	Yüksek hassasiyet (erken yangın uyarısı)	< 90 saniye	• Atriumlar • Hastaneler • Müzeler, tarihi yapılar
Class C (SFD)	Standart hassasiyet (geleneksel duman algılama seviyesi)	< 120 saniye	• Depolar • Arşivler • Kâğıt üretim tesisleri

Tablo 1. NFPA 76' ya göre aspirasyonlu duman algılama sistemlerinin performans sınıfları

Ayrıca endüstriyel tesisler ve üretim alanlarında, kömür, odun veya üretim süreçlerinden kaynaklanan toz partikülleri ortam havasında yoğun olarak bulunabilmektedir. Bu tür ortamlarda geleneksel noktasal tip duman dedektörlerinin kullanımı iki temel nedenle sınırlıdır. İlk olarak, dedektörler toz partikülleri ile yangın kaynaklı dumanı ayırt edemediğinden yanlış alarm olasılığı artmaktadır. İkinci olarak ise zamanla dedektör içerisinde biriken toz ve kir, performansın düşmesine, bakım ihtiyacının artmasına ve dedektör arızalarına neden olabilmektedir.

Aspirasyonlu duman algılama sistemleri ise dedektör ünitesinin kirli ortamın dışında konumlandırılmasına olanak tanır. Ayrıca örneklenen hava, dedektöre ulaşmadan önce uygun filtrelerden geçirilerek toz ve diğer partiküllerden arındırılabilir. Bu sayede hem yanlış alarm riski azaltılır hem de dedektörün güvenilirliği ve kullanım ömrü artırılır.

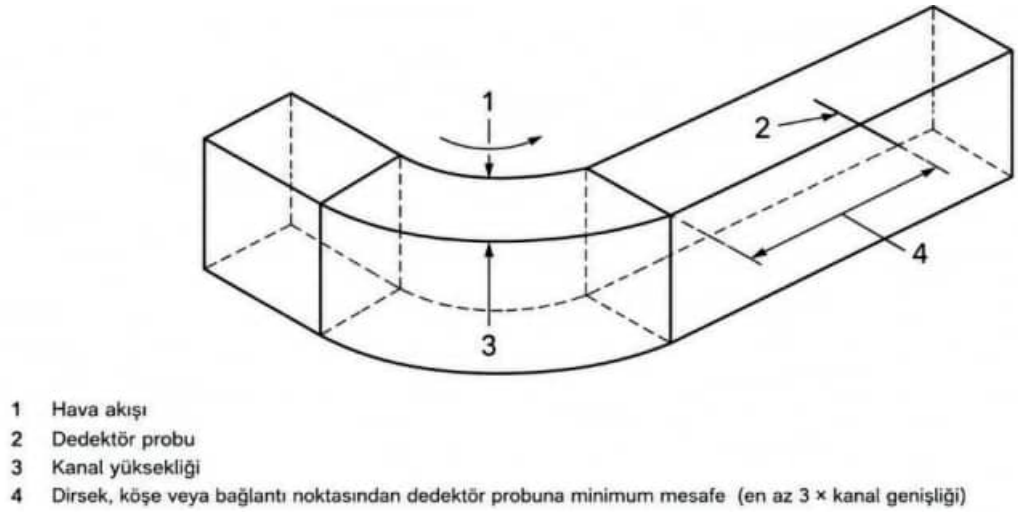
Bununla birlikte ASD sistemlerinin performansı yalnızca dedektör hassasiyetine bağlı değildir. Borulama ağı, örnekleme deliklerinin çapı ve yerleşimi, hava akışı, taşıma süresi ve fan kapasitesi sistem performansını doğrudan etkileyen temel tasarım parametreleridir. Ayrıca sistemler, boru hattındaki tıkanmaları ve hava akışındaki değişimleri sürekli izleyerek kendi çalışma bütünlüğünü denetleyebilmektedir. Bu nedenle aspirasyonlu duman algılama sistemlerinin üretici tasarım yazılımları ve mühendislik hesapları kullanılarak doğrulanması, sistemin beklenen algılama performansını sağlayabilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

2.2.3. Kanal Tipi Duman Dedektörleri

Kanal tipi duman dedektörleri, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri içerisinde taşınan dumanı algılamak amacıyla geliştirilmiş özel dedektörlerdir. TS EN 54-14 standardında bu dedektörlerin mahal içerisindeki yangını algılamak amacıyla değil, dumanın havalandırma sistemi aracılığıyla bina içerisinde yayılmasını önlemek ve havalandırma sistemi ekipmanlarının yerel olarak korunmasını sağlamak amacıyla kullanılabileceği belirtilmektedir [2].

Çalışma prensibi, kanal içerisine yerleştirilen örnekleme tüpü aracılığıyla hava akışının dedektöre yönlendirilmesine dayanmaktadır. Kanal içerisinde duman tespit edildiğinde klima santralinin durdurulması, yangın damperlerinin kapatılması veya duman kontrol senaryolarının başlatılması sağlanmaktadır.

Kanal tipi dedektörlerin mahal koruması sağlamadığı unutulmamalı, bina içerisindeki yangın algılaması için ilave noktasal dedektörler ile birlikte kullanılmalıdır.



1 Hava akışı
2 Dedektör probu
3 Kanal yüksekliği
4 Dirsek, köşe veya bağlantı noktasından dedektör probuna minimum mesafe (en az 3 × kanal genişliği)

Şekil 1. TS EN 54-14' e göre havalandırma kanallarında dedektörün konumlandırılması

2.2.4. Lineer Kablo Tipi Isı Dedektörü

Lineer kablo tipi ısı dedektörleri, sıcaklık değişimini kablo boyunca sürekli olarak algılayan ve yangının oluştuğu noktayı doğrusal hat üzerinde tespit edebilen özel algılama sistemleridir. Noktasal dedektörlerden farklı olarak tek bir algılama elemanı ile uzun mesafelerin korunmasına olanak sağlamaları nedeniyle özellikle kablo galerileri, enerji tünelleri, konveyör bantları, kablo tavaları, taşıma sistemleri, endüstriyel tesisler ve geniş doğrusal hacimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu dedektörler çalışma prensiplerine göre sabit sıcaklık, sıcaklık artış hızı veya fiber optik sıcaklık algılama teknolojileriyle üretilebilmektedir. En yaygın kullanılan sabit sıcaklık tipinde, kablo belirlenen sıcaklığa ulaştığında elektriksel veya optik özellikleri değişerek alarm oluşturur. Fiber optik tabanlı sistemlerde ise sıcaklık değişimi kablo boyunca sürekli ölçülerek yangının yeri metre seviyesinde hassasiyetle belirlenebilmektedir.

Lineer kablo tipi ısı dedektörlerinin en önemli avantajlarından biri, algılama elemanının korunan alan boyunca kesintisiz olarak uzanmasıdır. Böylece noktasal dedektörlerde olduğu gibi belirli aralıklarla dedektör yerleştirilmesine gerek kalmadan uzun doğrusal alanlar etkin şekilde korunabilmektedir. Ayrıca yüksek toz, nem, titreşim, kirlenme ve hava akımının yoğun olduğu ortamlarda noktasal dedektörlere göre daha karar-

lı çalışmaları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda önemli avantaj sağlamaktadır.

Bununla birlikte lineer kablo tipi ısı dedektörleri, yangının ilk aşamalarında oluşan dumanı algılayamadıkları için duman dedektörlerine göre daha geç alarm verebilir. Bu nedenle can güvenliğinin ön planda olduğu mahallerden ziyade, yüksek sıcaklık artışının beklendiği endüstriyel prosesler, enerji tesisleri ve doğrusal risklerin bulunduğu alanlarda tercih edilmektedir. Sistem tasarımında kablonun alarm sıcaklığı sınıfı, çevresel sıcaklık koşulları ve montaj geometrisinin birlikte değerlendirilmesi, güvenilir algılama performansının sağlanması açısından önem taşımaktadır.

2.2.5. Alev Dedektörleri

Duman oluşumunun çok az olduğu veya yangının çok hızlı geliştiği proseslerde en hızlı çalışan algılama teknolojilerinden biridir. Algılama prensibine göre; Ultraviyole radyasyon, kızılötesi radyasyon veya ikisinin bir kombinasyonu kullanılabilir.

Bu dedektörler, alevden yayılan elektromanyetik radyasyonu algılayarak ısı ve duman dedektörlerine kıyasla alevli yangınlara çok daha kısa sürede tepki verebilmektedir. Ancak için için yanan (korlaşan) yangınlar yeterli UV veya IR radyasyonu oluşturmadığından, alev dedektörleri bu tür yangınların algılanması için uygun değildir. Bu nedenle genel amaçlı dedektör olarak değerlendirilmemeli, yalnızca alevli yangın riskinin baskın olduğu uygulamalarda tercih edilmelidir.

Alev dedektörleri görüş hattı (line of sight) prensibiyle çalıştığından tavana monte edilmeleri zorunlu değildir. Dedektör ile korunacak alan arasında kolon, makine, boru hattı veya benzeri herhangi bir engelin bulunmaması gerekmektedir. Görüş hattını kesen engeller algılama performansını önemli ölçüde azaltabileceğinden dedektör yerleşimi dikkatle planlanmalıdır.

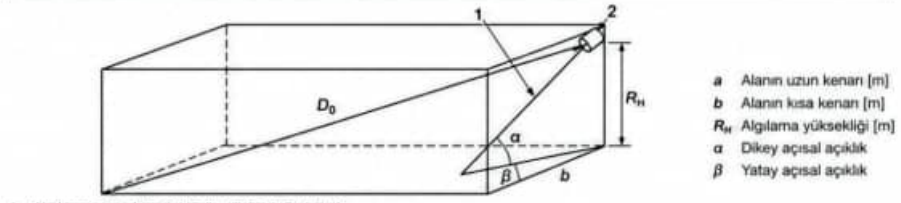
Algılama performansının sürekliliği için dedektör yüzeyinde veya radyasyonun iletim yolunda oluşabilecek kirlenmelere karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Ultraviyole dedektörlerde yağ, gres, toz ve cam yüzeyler; kızılötesi dedektörlerde ise buzlanma, yoğuşma ve cam yüzeyler algılama hassasiyetini olumsuz etkileyebilmektedir.

Bunun yanı sıra, flaş lambaları, kaynak işlemleri, radyoaktif kaynaklar ve benzeri yüksek enerjili ışınım kaynakları yanlış alarmlara neden olabileceğinden, bu tür ortamlar için dedektör seçimi ve yerleşimi üretici tavsiyeleri doğrultusunda yapılmalıdır. Doğrudan güneş ışığına maruz kalma ihtimali bulunan uygulamalarda ise güneş ışığına karşı bağışıklığı yüksek dedektörlerin kullanılması önerilmektedir.

Alev dedektörleri, EN 54-10 standardı kapsamında değerlendirilmekte olup ultraviyole ve kızılötesi algılama prensiplerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu dedektörler özellikle rafineriler, petrokimya tesisleri, yakıt dolum istasyonları, türbin odaları, uçak hangarları ve yanıcı sıvı veya gazların bulunduğu endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Alev Dedektörü EN 54-10	Maksimum Kenar Uzunluğu (a, b, R_H)	D_0 (Alan içindeki en uzak noktaya maksimum mesafe*)
Sınıf 1	26 m	45 m
Sınıf 2	20 m	33 m
Sınıf 3	13 m	23 m

*) Maksimum mesafe, maksimum kenar uzunluğu (a, b, R_H) × $\sqrt{3}$ 'e karşılık gelir.



1 Algılama ekseni (dedektörün görüş doğrultusu)
2 Alev dedektörü

a Alanın uzun kenarı [m]
b Alanın kısa kenarı [m]
R_H Algılama yüksekliği [m]
α Dikey açısal açıklık
β Yatay açısal açıklık

Şekil 2. TS EN 54-14' e göre Alev Dedektörlerinin algılama geometrisi

3. DEDEKTÖR YERLEŞİMİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK VE STANDARTLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, yangın algılama sistemlerine ilişkin genel hükümleri tanımlarken, dedektörlerin yerleşimine ilişkin ayrıntılı teknik kriterler için TS EN 54'e atıfta bulunmaktadır.

BYKHY'nin 74'üncü maddesinde;

"Yangın uyarı sistemi; yangın algılama, alarm verme, kontrol ve haberleşme fonksiyonlarını ihtiva eden komple bir sistemdir. Yangın algılama sisteminin ve parçalarının TS EN 54'e uygun olarak üretilmesi, tasarlanması, tesis edilmesi ve işletilmesi şarttır." [3]

Ayrıca Yönetmeliğin 75'inci maddesinde;

"Ek-7'de belirtilen binalardaki bütün mahallere, TS EN 54-14'e göre algılayıcılar yerleştirilir." ifadeleriyle dedektör yerleşiminde TS EN 54-14 standardının esas alınacağı açıkça belirtilmiştir.

TS EN 54-14 standardı; dedektör tipi, tavan yüksekliği, mahal geometrisi, hava hareketleri ve çevresel koşullar gibi parametreleri dikkate alarak dedektör yerleşimine ilişkin ayrıntılı tasarım kriterleri sunmaktadır. Standart, farklı dedektör teknolojilerinin kullanım sınırlarını tanımlamakta ve özellikle yüksek tavanlı hacimlerde uygulanabilecek algılama yöntemlerine yönelik yönlendirmeler içermektedir.

Buna karşılık NFPA 72, dedektör yerleşimini yalnızca kapsama alanı ve montaj mesafeleri açısından ele almamakta; duman hareketi, tabakalaşma, hava akımları, tavan geometrisi ve özel kullanım senaryoları gibi faktörlerin sistem performansı üzerindeki etkilerini de değerlendirmektedir [4]. NFPA 72'nin ise bunlara ek olarak performans temelli mühendislik yaklaşımını desteklediği görülmektedir. Özellikle yüksek tavanlı mahaller, atriumlar, depolar ve hava hareketinin yoğun olduğu alanlarda, yalnızca standartlarda belirtilen genel tasarım kurallarının uygulanması yerine mahale özgü mühendislik değerlendirmelerinin yapılması sistem performansının artırılması açısından önem taşımaktadır.

4. DEDEKTÖR SEÇİMİNİ VE YERLEŞİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

4.1. Mahalin Kullanım Amacına Göre Dedektör Seçimi

Dedektör seçimi ve yerleşimi, korunacak mahallin kullanım amacı, yangın yükü ve çevresel koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Her dedektör teknolojisi tüm mahaller için uygun değildir. Bu nedenle dedektör seçimi, korunacak mahalin özellikleri ile beklenen yangın karakteristiği dikkate alınarak yapılmalıdır.

Sahada karşılaşılan en yaygın hatalardan biri, tüm bina genelinde tek tip dedektör kullanılması veya mahallin özellikleri dikkate alınmadan dedektör seçimi yapılmasıdır. Bu durum yanlış alarm oranının artmasına veya gerçek yangınların geç algılanmasına neden olabilmektedir.

Örneğin, ofislerde bulunan kâğıt, karton, mobilya, kablo yalıtımları ve diğer selülozik malzemelerin yangının erken evresinde görünür duman oluşturması nedeniyle fotoelektrik duman dedektörleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Mutfaklarda ise pişirme sırasında oluşan buhar, yağ aerosolleri ve yüksek sıcaklıkların optik duman dedektörlerinde yanlış alarmlara neden olabilmesi nedeniyle ısı dedektörleri daha uygun bir çözüm sunmaktadır. Veri merkezlerinde, kablo yalıtımları, baskılı devre kartları ve elektronik ekipmanlarda meydana gelebilecek arızalar sonucu oluşan çok düşük yoğunluktaki dumanın mümkün olan en erken aşamada tespit edilmesi amacıyla yüksek hassasiyetli aspirasyonlu duman algılama sistemleri tercih edilmektedir. Atriumlar gibi yüksek hacimli mahallerde ise dumanın tavana ulaşmasının gecikmesi veya tavana ulaşmadan tabakalaşabilmesi nedeniyle, geniş alanlarda uzun mesafeli algılama yapabilen beam dedektörleri veya örnekleme noktaları farklı seviyelere yerleştirilebilen aspirasyonlu algılama sistemleri daha etkin çözümler sunmaktadır. Kapalı otoparklarda ise araç egzoz gazları, toz ve hava hareketlerinin duman algılama performansını etkileyebilmesi nedeniyle, uygulamanın özelliklerine bağlı olarak ısı dedektörleri veya çok kriterli dedektörler tercih edilebilmektedir.

4.2. Tavan Yüksekliği ve Duman Tabakalaşması

Çeşitli kaynaklarda, yangın sırasında oluşan dumanın tavana ulaşma süresinin tavan yüksekliğiyle birlikte arttığı; yüksek hacimli mahallerde ise dumanın yükselme sırasında çevresindeki hava ile karışarak soğuması ve yoğunluğunu kaybetmesi sonucunda tavana ulaşmadan belirli bir seviyede yatay olarak yayılıp tabakalaşabileceği belirtilmektedir [5,6]. Bu durum, tavana yerleştirilen noktasal duman dedektörlerinin dumanı geç algılamasına veya bazı durumlarda algılayamamasına neden olarak sistem performansını olumsuz etkileyebilir.

Bu risk özellikle atriumlar, yüksek depolar, hangarlar ve benzeri geniş hacimli yapılarda daha belirgindir. Atriumlarda yüksek tavanlar, doğal hava hareketleri, mekanik havalandırma sistemleri ve duman kontrol sistemleri dumanın hareketini doğrudan etkilerken; yüksek raflı depolarda raf düzeni ve depolanan malzemenin özellikleri dumanın yükselmesini ve yayılımını değiştirebilmektedir. Bu nedenle bu tür yapılarda dedektör seçimi ve yerleşimi yalnızca tavan yüksekliği veya standart kapsama alanları esas alınarak yapılmamalı; yapı geometrisi, hava hareketleri, depolama düzeni ve olası yangın senaryoları ile birlikte değerlendirilmelidir.

NFPA 72, yüksek tavanlı hacimlerde standart dedektör yerleşim kriterlerinin her zaman yeterli olmayabileceğini belirtmekte; gerekli durumlarda performans esaslı tasarım yöntemleri ve yangın modelleme çalışmalarının kullanılmasını önermektedir. Benzer şekilde TS EN 54-14, yüksek hacimli alanlarda beam tipi duman dedektörleri ve aspirasyonlu duman algılama sistemlerinin değerlendirilmesini tavsiye etmektedir.

Bu nedenle yüksek hacimli yapılarda beam tipi duman dedektörleri, aspirasyonlu duman algılama sistemleri veya ara seviyelerde dedektör yerleşimi gibi alternatif çözümler değerlendirilmelidir. Gerektiğinde bu çözümlerin uygunluğu performans esaslı tasarım ve yangın modelleme çalışmaları ile doğrulanmalıdır.

Mahal Yüksekliği (m)	Noktasal Tip Duman Dedektörleri (EN 54-7)	Lineer Duman Dedektörleri (EN 54-12)	Aktif Hava Örneklemeli Duman Dedektörleri A, B ve C Sınıfı	Noktasal Tip Isı Dedektörleri (EN 54-5) Sınıf A1, A2, B, C, D, E, F, G	Lineer Isı Dedektörleri (EN 54-22) Sınıf A ve A2	Noktasal Tip Alev Dedektörleri (EN 54-10) Sınıf 1, 2 ve 3
45 m'ye kadar		e, f	En az 15 adet Class B örnekleme deliği f			c
25 m'ye kadar		d,f	En az 15 adet Class C örnekleme deliği f			c
16 m'ye kadar			En az 5 adet Class C örnekleme deliği			c
12 m'ye kadar						
9 m'ye kadar					Yalnızca A1 Sınıfı	
7,5 m'ye kadar				Yalnızca A1 Sınıfı		
6 m'ye kadar						

	Uygun değil
	Kullanım ve çevresel koşullara bağlı olarak uygundur.(Örn. hızlı yangın gelişimi ve duman yayılımı)
	Uygun

a Class R veya S sınıfındaki dedektörler
b B, C, D, E, F ve G sınıfları yalnızca nesne koruması için uygundur.
c Dedektörün sınıfına ve konumlandırılmasına bağlıdır.
d Dedektörün algılama performansının sertifikasyonu ile kabul edilir.
e Seçilen beam modeli için %35 zayıflama veya daha düşük hassasiyet ve maksimum dedektör aralığına kadar tam açıklık kapsaması önerilir.
f Tabakalaşma konusunda endişe bulunması durumunda fiziksel yangın testi önerilir.

Tablo 2. TS EN 54-14' e göre Dedektör Yerleşim Yükseklikleri

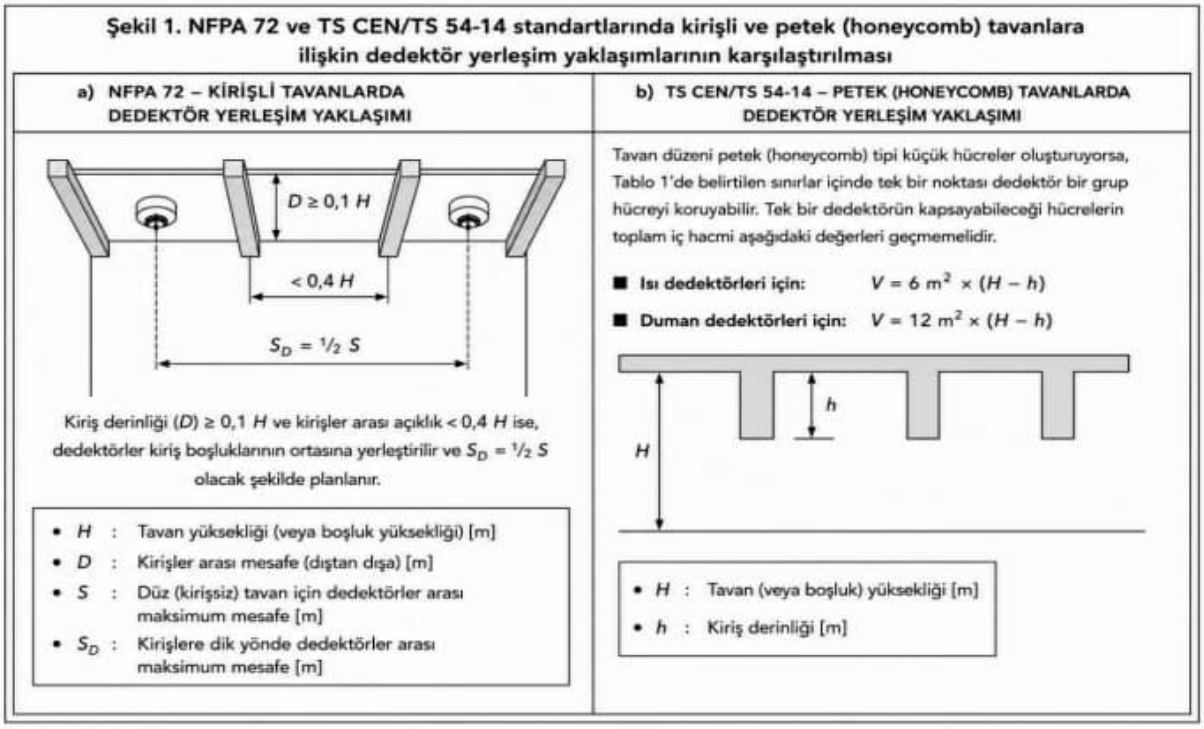
Tablo 2' de TS EN 54-14 standardında tanımlanan tavan yüksekliğine bağlı dedektör kullanım kriterleri özetlenmiştir.

4.3. Tavan Geometrisi

Dedektör yerleşiminde yalnızca tavan yüksekliği değil, tavanın geometrik yapısı da dikkate alınmalıdır. Duman tavana ulaştıktan sonra yüzeyi takip ederek yayıldığından eğimli çatılar, kubbeler ve özellikle derin kirişler dumanın hareketini önemli ölçüde değiştirebilir. Özellikle derin kirişler, dumanın tavan altında serbest yayılımını engelleyerek ayrı duman rezervuarlarının oluşmasına neden olabilir. Bu durumda her rezervuar ayrı bir bölge olarak değerlendirilmeli ve dedektör yerleşimi buna göre planlanmalıdır.

Sahada yaygın olarak karşılaşılan tasarım hatalarından biri, kirişlerin ve tavan geometrisinin dikkate alınmadan standart dedektör aralıklarının uygulanmasıdır. Bu durum bazı bölgelerde dumanın dedektöre ulaşmasını geciktirerek kör algılama bölgeleri oluşturabilmektedir.

NFPA 72 ve TS EN 54-14' te kiriş derinliği ve kiriş aralıklarına bağlı olarak farklı yerleşim kriterleri tanımlanmaktadır.



Şekil 3. NFPA 72 ve TS EN 54-14 standartlarına göre kirişli tavanlarda dedektör yerleşimleri

4.4. Hava Hareketleri

Yangın algılama performansını etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biri hava hareketleridir.

Klima sistemleri, jet fanlar, doğal havalandırma, basınçlandırma sistemleri ve proses kaynaklı hava akımları dumanın doğal yükselme davranışını değiştirebilir.

Sahada en sık karşılaşılan uygulama hatalarından biri, dedektörlerin hava üfleme veya emiş menfezlerine çok yakın yerleştirilmesidir. Hava üfleme menfezlerinin yakınında bulunan dedektörlerde, oluşan hava akımları yangından kaynaklanan dumanın dedektöre ulaşmasını engelleyecektir [7]. Bu nedenle dedektörler dumanı geç algılayabilir veya hiç algılamayabilir. Buna karşılık dönüş havası menfezlerinin bulunduğu bölgelerde duman yoğunluğu artabileceğinden dedektör yerleşimi dikkatle değerlendirilmelidir.

NFPA 72, dedektörlerin hava akımlarından olumsuz etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmesini önermektedir. Bu nedenle dedektörlerin HVAC ekipmanları ile ilişkisi tasarım aşamasında değerlendirilmeli ve standartlarda belirtilen minimum mesafe kriterlerine uyulmalıdır.

4.5. Çevresel Koşullar

Dedektör performansı; toz, nem, yoğuşma, buhar, titreşim, kimyasal gazlar ve yüksek ortam sıcaklığı gibi çevresel koşullardan doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle dedektör seçimi yapılırken ortamın fiziksel özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Örneğin ahşap işleme tesislerinde oluşan ince talaşlar optik dedektörlerde yanlış alarmlara neden olabilir. Benzer şekilde kaynak atölyelerinde oluşan duman ve sıcak parçacıklar uygun olmayan dedektör seçimlerinde sürekli yanlış alarm oluşturabilir. Bu durum yanlış alarm sıklığını artırdığı gibi bakım maliyetlerinin

yükselmesine ve sistem güvenilirliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu tür mahallerde çevresel şartlara uygun dedektör teknolojileri tercih edilmelidir.

4.6. Mimari ve Mekanik Engeller

Dedektör yerleşimi sırasında mimari ve mekanik tesisat elemanlarının duman hareketi üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Aydınlatma armatürleri, havalandırma kanalları, kablo tavaları, büyük mekanik ekipmanlar ve dekoratif mimari elemanlar dumanın dedektöre ulaşmasını geciktirebilir. Özellikle açık tavanlı yapılarda mekanik tesisatlar dumanın yayılımını önemli ölçüde değiştirebilmektedir.

Bu nedenle dedektör yerleşimi yalnızca mimari proje üzerinden değil, mekanik ve elektrik disiplinleri ile koordineli olarak değerlendirilmelidir.

Sahada karşılaşılan yaygın uygulama hatalarından biri, tesisat koordinasyonu yapılmadan dedektör yerleşiminin tamamlanmasıdır. Sonradan eklenen mekanik veya elektrik tesisatları dedektörlerin kapsama alanını olumsuz etkileyebilmekte ve algılama performansını düşürebilmektedir.

5. SONUÇ

Yangın algılama sistemlerinin etkinliği, yalnızca standartlarda belirtilen maksimum dedektör yerleşim mesafelerine uyulmasıyla sağlanamaz. Dedektör tipi ve yerleşimi; mahalin kullanım amacı, tavan yüksekliği, hava hareketleri, mimari özellikleri ve beklenen yangın senaryoları birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Özellikle yüksek hacimli ve karmaşık yapılarda performans esaslı mühendislik yaklaşımının benimsenmesi, erken yangın algılama başarısını önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu çalışmada, dedektör yerleşimini etkileyen temel tasarım kriterleri ulusal mevzuat ile TS EN 54-14 ve NFPA 72 standartları çerçevesinde incelenmiş, uygulamada sık karşılaşılan tasarım ve montaj hatalarının algılama performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, güvenilir ve etkin bir yangın algılama sistemi için standartlarda tanımlanan kapsama kriterlerinin tek başına yeterli olmadığını; dedektör seçimi ve yerleşiminin yapının fiziksel özellikleri, çevresel koşulları ve kullanım senaryoları dikkate alınarak mühendislik yaklaşımıyla tasarlanması gerektiğini ortaya koymuştur.

6. KAYNAKLAR

[1] NFPA 76 – Standard for the Fire Protection of Telecommunications Facilities, National Fire Protection Association, 2024.

[2] CEN/TS 54-14:2018, Fire detection and fire alarm systems – Part 14: Guidelines for planning, design, installation, commissioning, use and maintenance

[3] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), Güncel Resmî Gazete.

[4] NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code, National Fire Protection Association, 2025.

[5] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 6th Edition.

[6] Klote, J. H., Principles of Smoke Management.

[7] NFPA Fire Protection Handbook, 21st Edition.

KISA ÖZGEÇMİŞ

Fulden TOSUN

2015 yılında Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş, ardından Hacettepe Üniversitesi İşletme Yüksek Lisansı (MBA) programını tamamlamıştır. Yangın güvenliği alanında 10 yılı aşkın mesleki deneyime sahip olup; sağlık yapıları, endüstriyel tesisler, yüksek yapılar ve karma kullanımlı projelerde yangın algılama ve söndürme sistemlerinin tasarım süreçlerinde aktif olarak görev almıştır. NFPA tarafından verilen Certified Fire Protection Specialist (CFPS) unvanına sahiptir. Hâlen kurucusu olduğu Ignira Mühendislik bünyesinde yangın güvenliği danışmanlığı, risk analizi, yangın korunum sistemlerinin tasarımı alanlarında çalışmalarını sürdürmektedir. Ayrıca Society of Fire Protection Engineers (SFPE) Türkiye Chapter üyesidir.

YANGINLARIN ERKEN ALGILANMASINDA BİRİNCİL VE İKİNCİL DUMAN TESPİTİ YAKLAŞIMI: EN HIZLI ALGILAMA NOKTALARININ VE YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Özcan UĞURLU

ÖZET

Yangın algılama ve uyarma sistemlerinin tasarımında yaygın yaklaşım, dumanın yükselerek tavan seviyesinde birikmesi prensibine dayanmaktadır. Bu nedenle dedektör yerleşimleri ağırlıklı olarak tavan seviyesine göre yapılmakta ve bu yaklaşım çalışmada "ikincil algılama" olarak tanımlanmaktadır.

Buna karşılık, yangının oluştuğu noktaya yakın bölgelerde—özellikle elektrik panoları, kablo yoğun alanlar ve ekipman içlerinde—gerçekleştirilen algılama yaklaşımı "birincil algılama" olarak tanımlanmaktadır. Elektrik kaynaklı yangınlar çoğunlukla düşük enerjili ve lokal başlamakta, dumanın tavan seviyesine ulaşması ise zaman gecikmesine neden olmaktadır. Bu durum erken tespit ve müdahale süresini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışmanın temel yaklaşımı, erken yangın algılamanın yalnızca dedektör teknolojisine değil, dedektörlerin yangın kaynağına ve hava akışı boyunca stratejik olarak konumlandırılmasına bağlı olduğudur. Bu kapsamda, birincil algılama yaklaşımı çerçevesinde en hızlı tespit sağlayabilecek noktalar ve yöntemler değerlendirilmiştir.

Özellikle veri merkezleri gibi kritik ortamlarda; kabinet içleri, yükseltilmiş döşeme altları ve havalandırma/hava dönüş sistemleri boyunca yapılan birincil algılamanın önemi ortaya konmuştur. Bu alanlarda dumanın hava akımları ile taşınması ve gizli hacimlerde gelişmesi, yalnızca tavan seviyesinde algılamayı yetersiz kılabilmektedir.

Çalışmada ayrıca hava örneklemeli duman dedektörlerinin (ASD) performansı ve EN 54-20, TS CEN/TS 54-14 ve ilgili standartlar kapsamında kullanım esasları değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, yalnızca ikincil algılamaya dayalı sistemlerin kritik gecikmeler oluşturabileceği; buna karşılık birincil ve ikincil algılamanın birlikte kullanılması ile yangın güvenliğinde önemli iyileşme sağlanabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yangın algılama, birincil algılama, ikincil algılama, erken uyarı, ASD, hava örneklemeli dedektör, elektrik panosu yangınları, HVAC algılama, veri merkezleri, yükseltilmiş döşeme

A PRIMARY AND SECONDARY SMOKE DETECTION APPROACH FOR EARLY FIRE DETECTION: IDENTIFICATION OF THE FASTEST DETECTION POINTS AND METHODS

The conventional design of fire detection and alarm systems is based on the assumption that smoke rises and accumulates at ceiling level. Accordingly, detector placement is primarily determined by ceiling-level detection, which is defined in this study as "secondary detection."

In contrast, detection performed close to the fire source—particularly within electrical panels, cable-dense areas, and equipment enclosures—is defined as "primary detection." Electrical fires typically originate

as low-energy, localized events, and the time required for smoke to reach the ceiling introduces a delay. This delay negatively affects early detection and response time.

The core premise of this study is that early fire detection is not solely dependent on detector technology but significantly influenced by the strategic positioning of detectors relative to the fire source and airflow paths. Within this framework, the study evaluates the most effective locations and methods for rapid detection based on the primary detection approach.

Particular emphasis is given to critical environments such as data centers, where primary detection within cabinets, beneath raised floors, and along ventilation and return air systems plays a vital role. In such environments, smoke transport driven by airflow and fire development within concealed spaces can render ceiling-level detection insufficient as a standalone strategy.

The study also examines the performance of Aspirating Smoke Detection (ASD) systems and their application in accordance with EN 54-20, TS CEN/TS 54-14, and related standards.

In conclusion, systems relying solely on secondary detection may introduce critical delays, whereas the integrated use of primary and secondary detection can significantly enhance fire safety performance.

Keywords: Fire detection, primary detection, secondary detection, early warning, ASD, aspirating smoke detection, electrical panel fires, HVAC detection, data centers, raised floor detection

1. GİRİŞ

Yangın güvenliği mühendisliğinde temel hedeflerden biri, yangının mümkün olan en erken aşamasında güvenilir biçimde algılanarak insan müdahalesi, otomatik söndürme, proses durdurma, tahliye ve diğer yangın güvenliği fonksiyonlarının başlatılmasıdır.

Geleneksel yangın algılama yaklaşımı, yangın sonucu oluşan sıcak gazların ve dumanın termal kaldırma kuvveti etkisiyle yükselmesi ve tavan veya çatı seviyesinde toplanması esasına dayanır. Bu yaklaşım genel alan ve can güvenliği korumasının temelini oluşturmaya devam etmektedir. Bununla birlikte erken veya çok erken algılama hedeflenen kritik uygulamalarda yalnızca tavan seviyesindeki algılama noktalarının değerlendirilmesi yeterli olmayabilir.

Modern yapılarda yangın başlangıç noktaları sıklıkla elektrik panoları, elektronik ekipmanlar, sunucu kabinetleri, kablo bağlantıları, makine muhafazaları, yükseltilmiş döşeme altları, asma tavan boşlukları ve teknik şaftlar gibi genel hacimden kısmen veya tamamen ayrılmış bölgelerde bulunmaktadır.

Bu nedenle erken yangın algılama problemi; yangın riski, muhtemel başlangıç noktası, termal bozunma/piroliz, ilk duman oluşumu, doğal veya mekanik taşınım, seyrelme/katmanlaşma, algılama noktası, algılama teknolojisi ve alarm-müdahale zinciri üzerinden değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın temel hipotezi şudur: Erken yangın algılamada belirleyici olan yalnızca dedektörün ne kadar hassas olduğu değil, dumanın nerede oluştuğu ve dedektörün bu dumana fiziksel olarak ne kadar erken ulaşabildiğidir.



Şekil 1. Yangın kaynağından genel hacme uzanan algılama zinciri ve bu çalışmada kullanılan birincil/ikincil algılama kavramsal modeli.

2. BİRİNCİL VE İKİNCİL ALGILAMA KAVRAMLARI

2.1. Bu Çalışmada "Birincil Algılama" Kavramı

Bu çalışmada "birincil algılama", yangının genel hacme yayılmasından önce; kaynak, mikro çevre, ekipman/ muhafaza çıkışı veya dumanın erken taşındığı kontrollü hava akış güzergâhında gerçekleştirilen algılamayı ifade eden üst kavramdır. Kavram, belirli bir dedektör teknolojisini değil, algılama stratejisini tanımlar.

FIA ASD uygulama kılavuzundaki sınıflandırma ile terminolojik ilişki kurmak amacıyla bu bildiride; hava dönüşü/taşınım yolu, genel hacim, yerel/risk odaklı, pano-kabinet içi ve kanal içi örnekleme terimleri kullanılmaktadır. İngilizce karşılıklar Şekil 2'de ve ilk kullanımda terminolojik eşleştirme amacıyla verilmiştir.



Şekil 2. FIA ASD terminolojisindeki örnekleme yöntemleri ile bu çalışmada kullanılan üst düzey algılama yaklaşımının ilişkisi.

2.2. Hava Dönüşü / Taşınım Yolu Örneklemesi

Hava dönüşü / taşınım yolu örneklemesi, dumanın doğal veya mekanik hava hareketleri nedeniyle taşınmasının ya da belirli noktalarda toplanmasının beklendiği bölgelerden hava örneği alınmasına dayanır. FIA kılavuzunda "Primary Sampling" olarak adlandırılan bu yaklaşımın tipik uygulamalarından biri, yüksek hava akımlı ortamlardaki HVAC/iklimlendirme sistemi dönüş havası noktalarıdır. Amaç, duman genel hacimde daha fazla seyrelmeden önce dumanın taşındığı güzergâhta algılama yapmaktır.

2.3. Yerel / Risk Odaklı ve Pano-Kabinet İçi Örnekleme

Yangın riskinin belirli bir ekipman veya küçük hacimde yoğunlaştığı durumlarda örnekleme, doğrudan risk bölgesine veya ekipmanın hava çıkış/egzoz güzergâhına taşınabilir. Böylece dumanın genel hacme yayılmasından önce algılanması hedeflenir.

2.4. Genel Hacim Örneklemesi / İkincil Algılama

Genel hacim/ikincil algılamada algılama noktaları, tavan, çatı veya uygun üst seviyelerde alan korumasını sağlayacak biçimde düzenlenir. Yerleşim ve kapsama değerlendirmesi TS CEN/TS 54-14 ve ilgili EN 54 ürün standartları çerçevesinde yapılmalıdır.

3. ERKEN YANGIN ALGILAMA İÇİN RİSK BAZLI TASARIM

Yangın algılama projelendirmesinde ilk soru doğrudan "Hangi dedektörü kullanmalıyız?" olmamalıdır. Öncelikle korunacak mahal veya ekipmanın yangın gelişim senaryosu değerlendirilmelidir.

- Yangının başlaması en muhtemel noktalar ve tutuşturucu enerji kaynakları belirlenmelidir.
- İlk dumanın hangi mikro çevrede oluşacağı ve bu çevrenin açık, kapalı veya havalandırmalı olup olmadığı analiz edilmelidir.
- Doğal konveksiyon ile mekanik hava akımının göreli etkisi değerlendirilmelidir.
- Dumanın taşınım, seyrelme ve olası stratifikasyon güzergâhı belirlenmelidir.
- Duman genel hacme yayılmadan önce güvenilir biçimde örneklenebilecek noktalar araştırılmalıdır.
- Algılama sonrası alarm, HVAC kontrolü, proses durdurma, enerji izolasyonu veya söndürme fonksiyonları sebep-sonuç matrisi içinde tanımlanmalıdır.

4. DUMAN OLUŞUMU VE FİZİKSEL TAŞINIM

4.1. Erken Yangın Aşaması ve Duman Oluşumu

Birçok yangında açık alev oluşmasından önce malzeme sıcaklığının yükselmesi ve termal bozunma süreçleri meydana gelebilir. Özellikle kablo izolasyonları, plastik muhafazalar, elektronik bileşenler, bağlantı noktaları, motor ve güç elektroniği bileşenleri lokal aşırı ısınma etkisi altında yanma ürünleri oluşturabilir.

4.2. Termal Yükselme

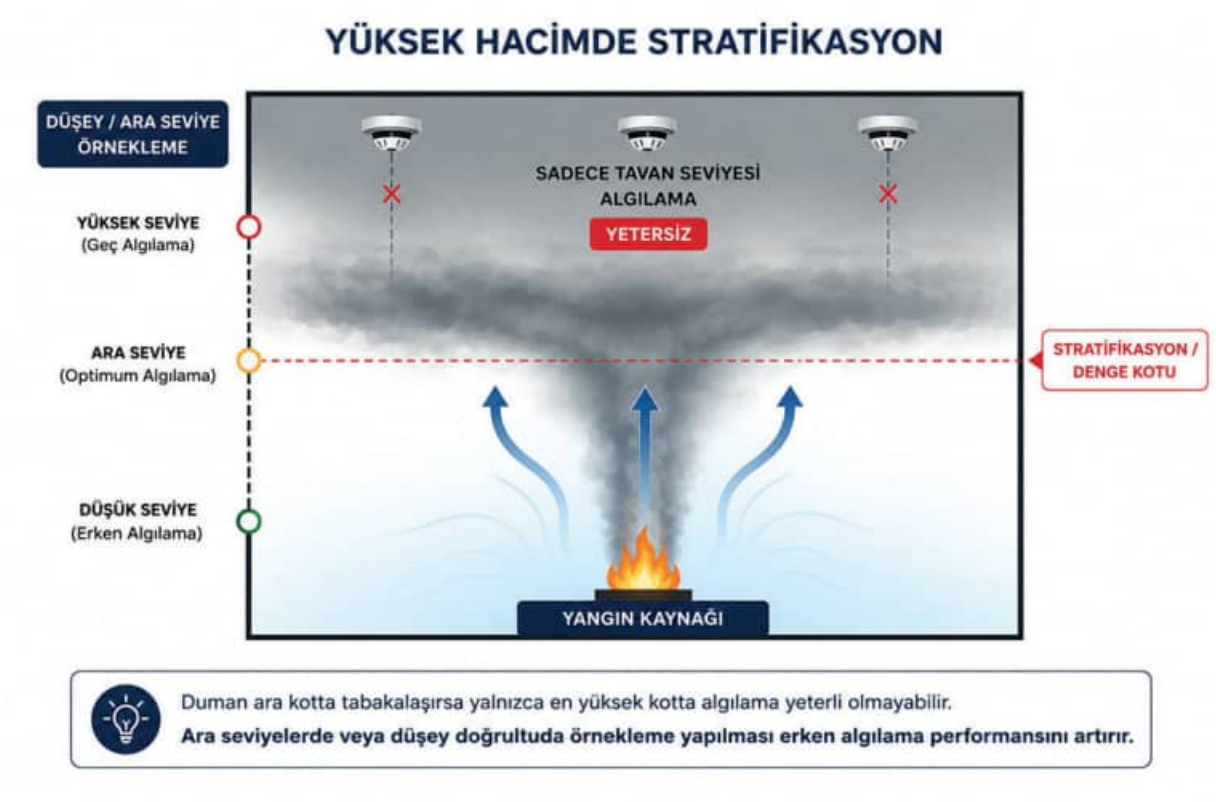
Yangın geliştikçe sıcak gazların yoğunluğu çevre havasına göre azalır ve kaldırma kuvveti dumanı yukarı taşır. Ancak gerçek yapılarda mekanik havalandırma, sıcaklık gradyentleri, basınç farkları, hava kaçakları, yapısal engeller, fanlar ve ekipman egzozları dumanın hareketini değiştirebilir.

4.3. Seyrelme Etkisi

Dumanın algılanabilirliği yalnızca üretilen toplam duman miktarıyla değil, algılama noktasındaki duman konsantrasyonuyla ilişkilidir. Yüksek hava sirkülasyonunda küçük miktardaki duman büyük miktarda temiz hava ile karışır ve algılama noktasındaki konsantrasyon düşer.

4.4. Stratifikasyon

Yükselen duman çevre havasıyla karıştıkça soğur. Belirli koşullarda duman-hava karışımının sıcaklığı bulunduğu seviyedeki ortam havasına yaklaştığında kaldırma kuvveti azalabilir ve duman tavana ulaşmadan ara seviyede tabakalaşabilir. Bu olay stratifikasyon olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3. Yüksek hacimlerde stratifikasyon halinde yalnız tavan seviyesine bağımlı algılamanın sınırı ve düşey/ara seviye örnekleme yaklaşımı.

5. HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ VE DUMAN ALGILAMA

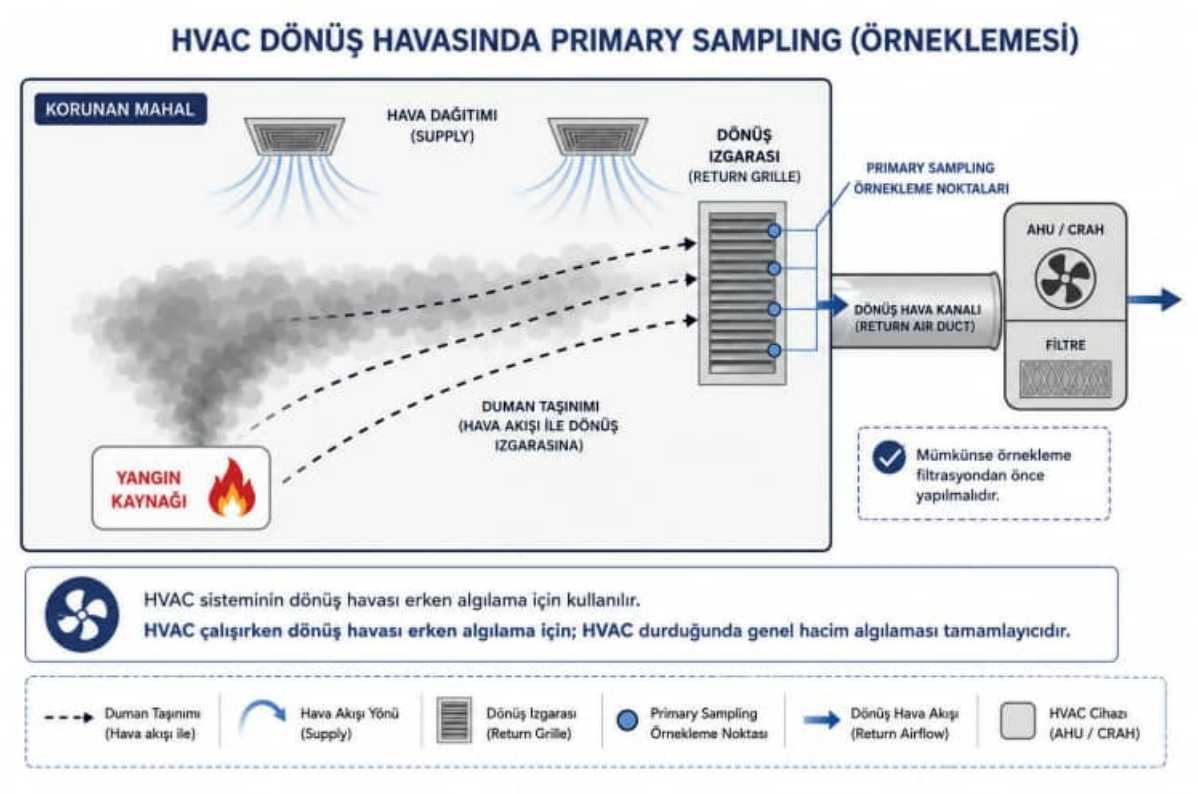
5.1. Duman Bir Akışkan Olarak Değerlendirilmelidir

Mekanik havalandırmanın hâkim olduğu bir hacimde duman hareketi; termal kaldırma kuvveti, mekanik hava hareketi, basınç farkı, türbülans ve hacim geometrisinin bileşkesi olarak oluşur. Bu nedenle HVAC tasarımı ile yangın algılama tasarımının birbirinden tamamen bağımsız gerçekleştirilmesi erken algılama performansı açısından eksikliklere yol açabilir.

5.2. Hava Dönüş Noktalarında Birincil Örnekleme

Mahaldeki hava belirli dönüş ızgaralarından iklimlendirme sistemine geri çekiliyorsa, yangının başlangıç aşamasında oluşan duman da mekanik hava hareketleriyle bu bölgelere taşınabilir. Bu nedenle dönüş havası noktaları, özellikle yüksek hava hareketinin bulunduğu kritik hacimlerde, dumanın genel hacimde daha fazla seyrelmeden önce örneklenebileceği etkili algılama bölgeleri olarak değerlendirilebilir. FIA ASD uygulama kılavuzunda bu yaklaşım “Primary Sampling” olarak tanımlanır. Tasarım; hava hızı, dönüş ızgarasının etkin alanı, filtre konumu, hava dağılımı ve kullanılan ASD’nin EN 54-20 kapsamında onaylanmış çalışma sınırları dikkate alınarak yapılmalıdır.

Hava dönüşü üzerinden yapılan birincil örneklemenin etkinliği çoğu uygulamada mekanik hava akışının devam etmesine bağlıdır. HVAC sistemi durduğunda dumanın örnekleme noktalarına taşınma mekanizması değişebileceğinden, riskin gerektirdiği durumlarda bu algılama katmanı genel hacim örneklemesi veya noktasal duman algılamasıyla tamamlanmalıdır.



Şekil 4. AHU dönüş havasında birincil örnekleme ve tavan seviyesinde tamamlayıcı genel hacim/ikincil algılama yaklaşımı.

5.3. Kanal Tipi Duman Algılama

Temel amaç, dumanın HVAC sistemi üzerinden yangının başladığı bölgeden diğer mahallere taşındığını algılamak ve yangın senaryosu kapsamında HVAC sisteminin kontrol edilmesini sağlamaktır.

5.4. Kanal İçi Erken Uyarı Örneklemesi

Bu uygulamada kanal veya hava dönüş güzergâhı yangının başladığı mahal için erken algılama noktası olarak kullanılmaktadır. İki uygulama fiziksel olarak aynı kanal içerisinde bulunabilse bile koruma hedefleri farklıdır.

Kanal algılama cihazı veya ASD örnekleme sistemi beklenen hava hızı, basınç, kanal geometrisi, türbülans ve üreticinin onaylanmış çalışma aralığı dikkate alınarak seçilmelidir.

6. KRİTİK ELEKTRONİK TESİSLERDE KATMANLI VE ERKEN ALGILAMA

6.1. Veri Merkezlerinde Katmanlı Algılama

Veri merkezlerinde yüksek elektriksel güç yoğunluğu, ekipman fanları, CRAC/CRAH sistemleri, sıcak-soğuk koridor düzenleri, yüksek hava değişim oranları ve gizli hacimler dumanın oluşum ve taşınım davranışını birlikte belirler. Bu nedenle algılama stratejisi tek bir seviyeye değil, farklı yangın gelişim aşamalarını izleyen katmanlara dayandırılmalıdır.

Katman 1 - Pano/Kabinet İçi veya Yerel Örnekleme

Pano-kabinet içi / yerel örnekleme: İlk dumanın kabinet içindeki uygun bölgelerde veya ekipman fanlarının taşıdığı egzoz akışında yakalanması hedeflenir.

Katman 2 - Hava Dönüşü / Birincil Örnekleme

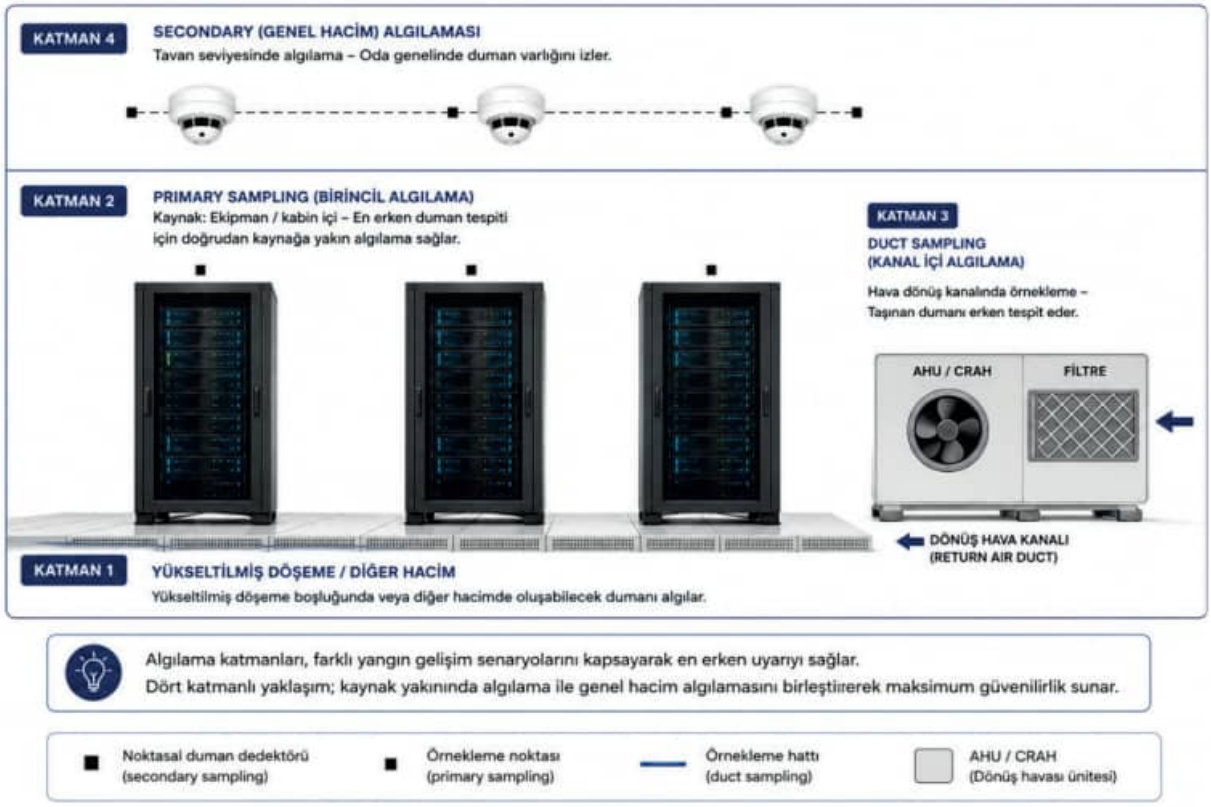
Hava dönüşü / birincil örnekleme: CRAC/CRAH veya diğer iklimlendirme ünitelerinin dönüş havası bölgelerinde, taşınan dumanın genel hacimde daha fazla seyrelmeden algılanması hedeflenir.

Katman 3 - Gizli Hacimler

Yükseltilmiş döşeme ve tavan plenumları ayrı yangın riskleri ve duman taşınım özellikleri açısından değerlendirilir.

Katman 4 - Genel Hacim / İkincil Algılama

Genel hacim / ikincil algılama: Odanın genel hacmi tavan veya uygun üst seviyelerdeki algılama ile korunur.



Şekil 5. Veri merkezlerinde önerilen dört katmanlı algılama modeli: kabinet, hava dönüşü, gizli hacimler ve genel hacim.

6.2. BS 6266 ve Yüksek Hava Akımlı Elektronik Ortamlar

Elektronik ekipman tesislerinde algılama tasarımı; ekipman yoğunluğu, iş sürekliliği hedefi ve hava hareketleri nedeniyle genel ofis hacimlerinden farklı ele alınmalıdır. BS 6266, elektronik ekipman tesislerinde yangın algılama ve koruma stratejisinin tesisin risk özelliklerine göre oluşturulmasına yönelik uygulama çerçevesi sağlar. Yüksek hava hareketinin bulunduğu ortamlarda dumanın taşınımı ve seyrelmesi ayrıca değerlendirilerek algılama/örnekleme düzeni buna göre doğrulanmalıdır.

6.3. Kritik Elektronik Tesislerde Erken Algılama Yaklaşımı

Veri merkezleri, telekomünikasyon alanları ve kritik elektronik tesislerde yangının sonuçları iş sürekliliği ve ekipman kaybı bakımından yüksek olabilir. Bu nedenle algılama hedefi, risk değerlendirmesine bağlı olarak genel hacim algılamasının yanı sıra yangın kaynağına veya dumanın erken taşınım güzergâhına yakın

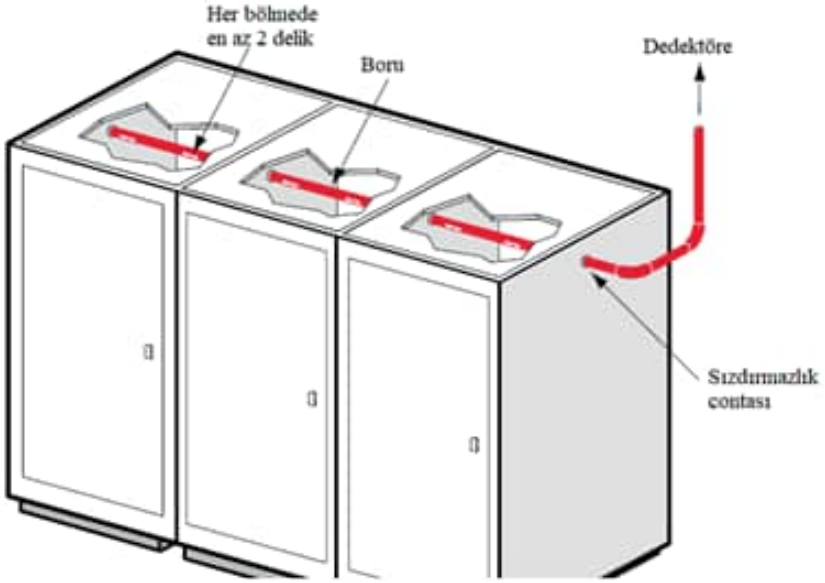
noktalarda erken uyarıyı da kapsayabilir. ASD kullanıldığında performans sınıfı ve örnekleme ağı EN 54-20 kapsamında doğrulanmalı; sistemin planlama, yerleşim, devreye alma ve diğer algılama katmanlarıyla ilişkisi TS CEN/TS 54-14 çerçevesinde ele alınmalıdır.

7. ELEKTRİK PANOLARI VE MİKRO ÇEVRE ALGILAMASI

Elektrik panolarında bağlantı gevşekliği, yüksek temas direnci, aşırı yüklenme, izolasyon bozulması, güç elektroniği arızaları veya ark olayları lokal aşırı ısınmalara neden olabilir. Kapalı bir pano içerisinde oluşan dumanın oda tavanındaki dedektör tarafından algılanması için önce pano dışına çıkması, oda havasına karışması ve algılama noktasına taşınması gerekir.

Kritik panolarda bu zincirin ilk aşamasında algılama değerlendirilebilir. Ancak pano içi örnekleme noktaları yalnızca elektriksel sıcak noktaların üzerine mekanik olarak yerleştirilmemeli; pano içerisindeki doğal hava hareketi, fanlar, havalandırma açıklıkları, bölmeler ve kablo girişleri dikkate alınarak gerçek duman hareket güzergâhı belirlenmelidir.

Kapalı veya kritik elektrik panolarında pano içi örnekleme, risk değerlendirmesi sonucunda değerlendirilebilir. EN 54-20 performans sınıfı ve örnekleme düzeni; hedeflenen erken uyarı performansı, pano içi hava hareketi, olası duman seyrelmesi ve üreticinin doğrulanmış tasarım sınırları birlikte dikkate alınarak belirlenmelidir.



Şekil 6. Elektrik panosunda pano-kabinet içi örnekleme: örnekleme noktasının pano içi gerçek hava ve duman hareketine göre konumlandırılması.

8. GİZLİ VE DÜŞEY HACİMLERDE ALGILAMA

Gizli hacimler ve düşey yapı boşlukları, yangının başlangıç aşamasında oluşan dumanın genel hacme ulaşmadan önce bir süre içerisinde kalabileceği veya yapı ve tesisat düzenine bağlı olarak farklı güzergâhlara taşınabileceği bölgelerdir. Yükseltilmiş döşeme altları, asma tavan boşlukları, tesisat şaftları ve asansör kuyuları bu açıdan ayrıca değerlendirilmelidir.

Bu hacimlerde algılama tasarımının yalnızca geometrik ölçülere veya tavan yüksekliğine dayandırılması yeterli değildir. Yangın yükü ve tutuşturucu kaynakların konumu, hava hareketleri, sıcaklık ve basınç farklılıkları, dumanın muhtemel taşınım yönü, seyrelme ve stratifikasyon olasılığı ile hedeflenen algılama süresi birlikte değerlendirilmelidir.

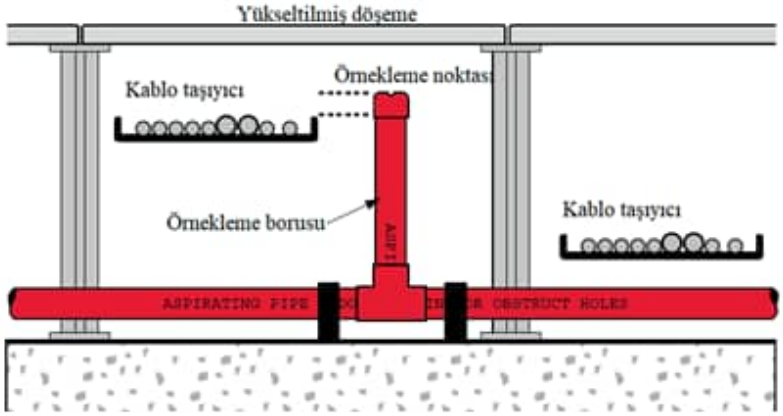
Bu hacimlerde örnekleme noktalarının riskin ve beklenen duman hareketinin bulunduğu bölgelere taşınabilmesi, erken algılama açısından tasarım esnekliği sağlar. Örnekleme noktalarının sayısı ve konumu ile boru ağı performansı EN 54-20 kapsamında doğrulanmış tasarım sınırları içinde; planlama, yerleşim ve devreye alma ise TS CEN/TS 54-14 çerçevesinde değerlendirilmelidir.

8.1. Yükseltilmiş Döşeme Altları

Yükseltilmiş döşeme boşluklarında enerji ve veri kabloları, kablo bağlantıları, priz ve bağlantı elemanları ile çeşitli elektrik ve elektronik ekipmanlar bulunabilir. Bu nedenle özellikle yoğun kablolama bulunan döşeme altları yalnızca bir yapı boşluğu olarak değil, kendi yangın yükü ve tutuşturucu kaynaklarına sahip ayrı bir risk hacmi olarak değerlendirilmelidir.

Döşeme altının aynı zamanda iklimlendirme havasının dağıtıldığı bir plenum olarak kullanılması durumunda dumanın hareketi doğal yükselmeden çok mekanik hava hareketlerinden etkilenebilir. Başlangıç aşamasındaki duman hava akımıyla taşınabilir, seyrelerek geniş bir alana yayılabilir veya belirli hava dönüş güzergâhlarına yönlenebilir.

Bu nedenle ASD örnekleme noktalarının yerleşiminde yalnızca düzenli geometrik aralıklar esas alınmamalı; kablo tavalarının ve yoğun kablo gruplarının konumu, elektriksel bağlantı noktaları, hava besleme/dönüş yönleri ve dumanın beklenen hareket güzergâhı birlikte değerlendirilmelidir.



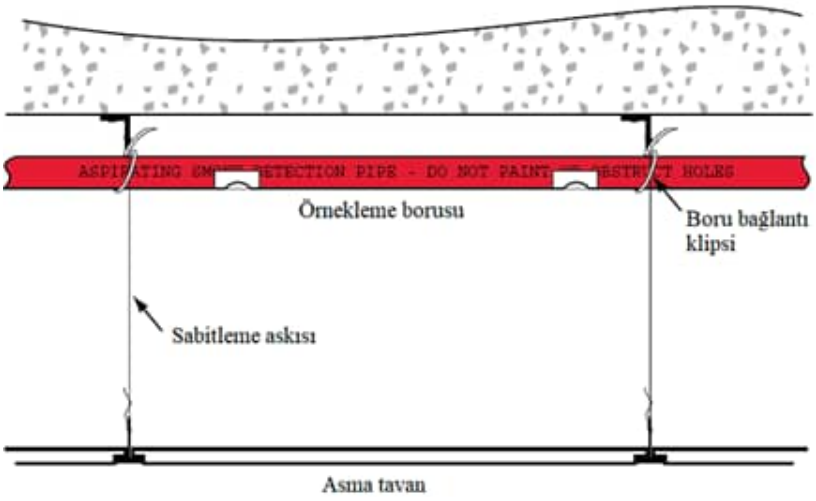
Şekil 7. Yükseltilmiş döşeme altında duman algılaması

8.2. Asma Tavan Üstleri

Asma tavan boşluklarında enerji ve haberleşme kabloları, kablo tavaları, elektrik bağlantıları, aydınlatma ekipmanları, güç kaynakları, hava kanalları ve diğer mekanik veya elektriksel tesisat elemanları bulunabilir. Dolayısıyla algılama gereksiniminin belirlenmesinde yalnızca asma tavan boşluğunun geometrik yüksekliği yeterli bir değerlendirme kriteri değildir.

Yangının asma tavan boşluğunda başlaması halinde oluşan duman, mahalde bulunan tavan altı dedektörlerine ulaşmadan önce gizli hacim içerisinde hareket edebilir. Hava kanalları, boşluğun bölümlenmesi, tesisat yoğunluğu ve mekanik hava hareketleri dumanın yönünü ve algılama noktasına ulaşma süresini değiştirebilir.

Özellikle yoğun kablo tavaları veya elektriksel ekipmanların bulunduğu asma tavan boşluklarında, riskin kaynağına ve dumanın beklenen hareket güzergâhına uygun ASD örnekleme noktalarının oluşturulması, dumanın genel hacme geçmesi beklenmeden algılanmasına imkân sağlayabilir.



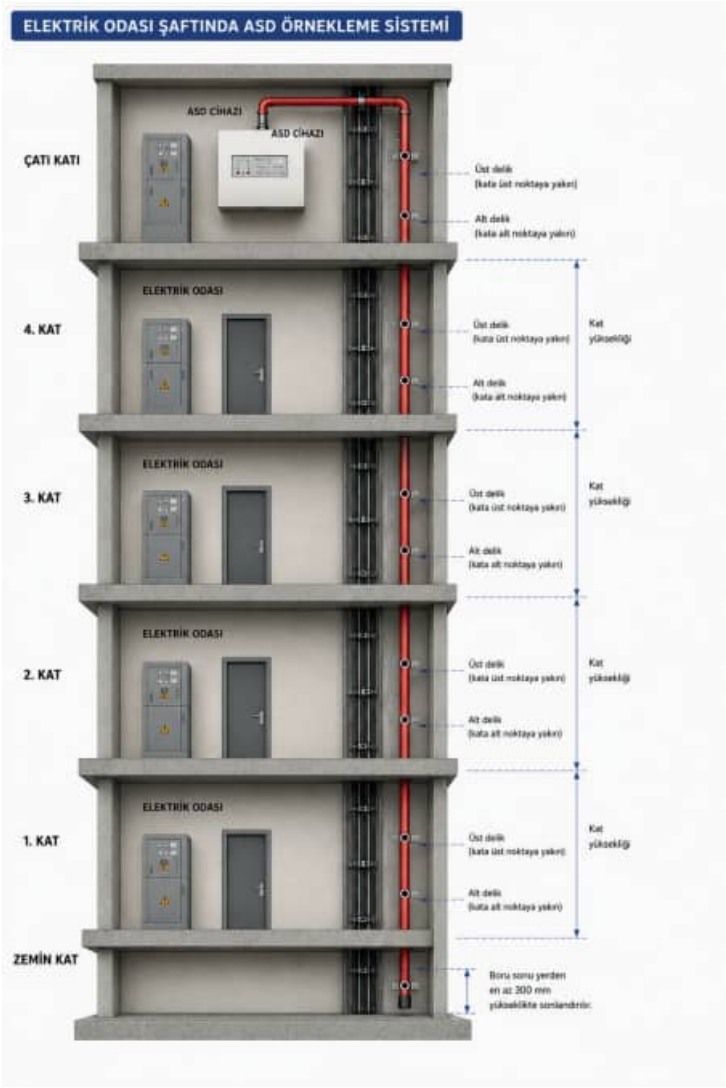
Şekil 8. Asma tavan üstünde duman algılaması

8.3. Dikey Tesisat Şaftları

Elektrik, haberleşme ve mekanik tesisat şaftları binanın farklı katlarını düşey doğrultuda birbirine bağlayan özel hacimlerdir. Bu hacimlerde duman hareketi; baca etkisi, sıcaklık farklılıkları, katlar arasındaki basınç farkları, hava kaçakları ve şaft içerisindeki doğal veya mekanik hava hareketlerinden etkilenebilir.

Yangının şaft içerisinde veya şafta açılan bir tesisat bölgesinde başlaması halinde duman düşey doğrultuda hızla taşınabilir. Bununla birlikte uzun ve yüksek şaftlarda yükselen sıcak dumanın çevre havasıyla karışarak soğuması veya farklı basınç bölgeleriyle karşılaşması sonucunda duman belirli seviyelerde tabakalaşabilir.

Bu nedenle özellikle yüksek veya kritik tesisat şaftlarında yalnızca en üst seviyede algılama yapılması her durumda yeterli erken algılama performansı sağlamayabilir. Risk değerlendirmesinin sonucuna göre farklı kotlarda örnekleme noktaları bulunan düşey ASD borulaması değerlendirilebilir. Örnekleme seviyelerinin belirlenmesinde şaft yüksekliği, yangın yükünün bulunduğu kotlar, hava hareketleri ve muhtemel duman tabakalaşması dikkate alınmalıdır.



Şekil 9. Elektrik kablo şaftında duman algılaması

8.4. Asansör Kuyuları

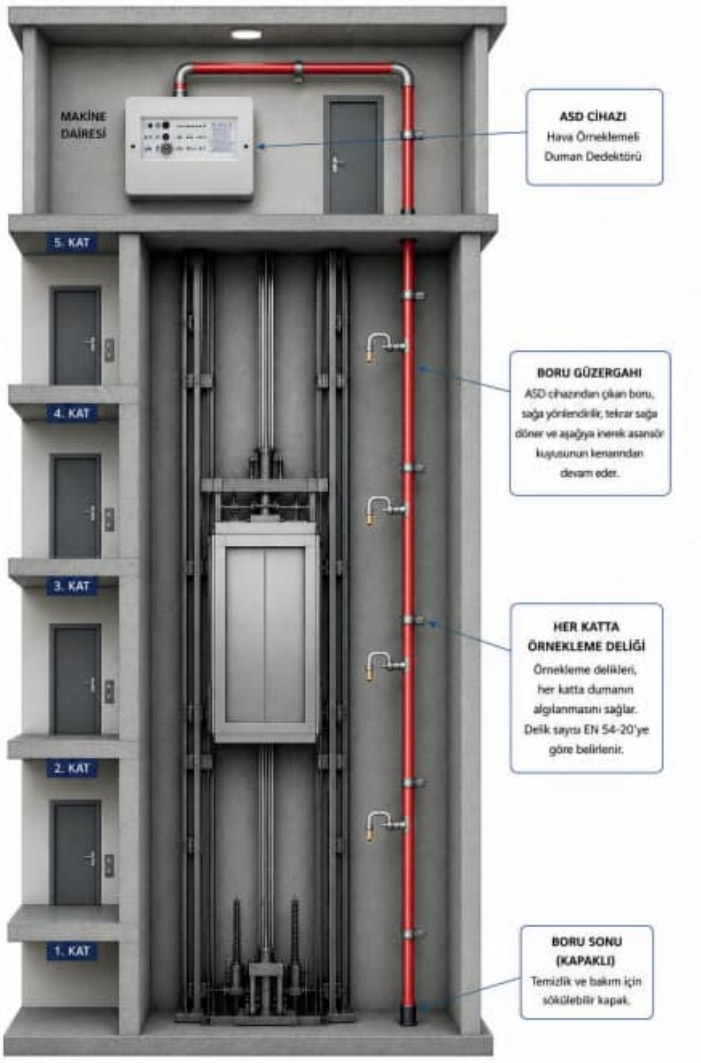
Asansör kuyuları da katlar boyunca devam eden düşey hacimler olmaları nedeniyle duman hareketi açısından özel olarak değerlendirilmelidir. Kuyu içerisindeki sıcaklık ve basınç farklılıkları, kapı açıklıklarından gerçekleşen hava kaçakları, kabinin hareketinin oluşturduğu hava hareketleri ve kuyu geometrisi dumanın düşey yöndeki taşınımını etkileyebilir.

Yangın riski yalnızca kuyu içerisinden kaynaklanmayabilir. Katlarda oluşan dumanın asansör kapıları veya diğer açıklıklar üzerinden kuyuya girmesi de mümkündür. Bu nedenle asansör kuyusunda algılama yapılmasına karar verilmesi halinde amaç öncelikle belirlenmelidir: kuyu içerisindeki bir yangının erken algılanması mı, yoksa kuyuya giren dumanın tespit edilmesi mi hedeflenmektedir?

Yüksek asansör kuyularında yalnızca kuyu üst noktasındaki algılamanın yeterliliği, beklenen duman hareketi ve kuyu içi hava koşulları dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Hava hareketleri, sıcaklık farklılıkları ve olası tabakalaşma dumanın farklı kotlardaki dağılımını etkileyebilir. Risk değerlendirmesinin gerektirdiği ve ilgili mevzuat, erişim/bakım koşulları ile uyumlu uygulamalarda, farklı kotlardan örnekleme yapılması bir tasarım seçeneği olarak incelenebilir.

Bu tür bir çözüm seçildiğinde örnekleme noktalarının konumu; kuyu yüksekliği, olası yangın kaynakları, kat seviyeleri, hava hareketleri ve muhtemel duman taşınımı esas alınarak proje özelinde belirlenmelidir.

Asansör kuyusundaki algılama sistemi ayrıca asansörün yangın durumundaki kontrol fonksiyonlarından ayrı değerlendirilmemeli; yangın algılama ve alarm sisteminin diğer fonksiyonlarıyla olan ilişkisi proje kapsamında bütüncül olarak ele alınmalıdır.



Şekil 10. **Asansör kuyusunda duman algılaması**

8.5. Gizli Hacimler İçin Tasarım Yaklaşımı

Yükseltilmiş döşeme, asma tavan, tesisat şaftı veya asansör kuyusu için ortak tasarım yaklaşımı, yalnızca hacmin geometrisine göre dedektör veya örnekleme noktası yerleştirmek değildir. Öncelikle yangının nerede başlayabileceği, ardından ilk dumanın nerede oluşacağı ve hangi fiziksel güzergâhı izleyeceği değerlendirilmelidir.

Bu analiz sonucunda algılama noktası;

Yangın kaynağı → İlk duman → Hava hareketi / taşınım → Olası birikme veya tabakalaşma → En erken güvenilir örnekleme noktası zinciri izlenerek belirlenmelidir.

Bu yaklaşım, özellikle kablo yoğunluğu yüksek gizli hacimler ve uzun düşey şaftlarda algılama noktasının risk ve duman taşınım güzergâhına göre konumlandırılmasını mümkün kılar.

9. TS CEN/TS 54-14 VE SİSTEM ENTEGRASYONU

TS CEN/TS 54-14 yangın algılama ve yangın alarm sistemlerinin planlama, tasarım, montaj, işletmeye alma, kullanım ve bakım aşamalarına rehberlik eder. Algılama sonrasında gerçekleştirilecek enerji izolasyonu,

HVAC kontrolü, proses durdurma veya söndürme fonksiyonları tesis için oluşturulan yangın senaryosu ve sebep-sonuç matrisi doğrultusunda belirlenmelidir.

10. BİRİNCİL VE İKİNCİL ALGILAMANIN KARŞILAŞTIRILMASI

Parametre	Kaynak / Taşınım Yolu Bazlı Erken Algılama	Genel Hacim / İkincil Algılama
Temel amaç	Yangının mümkün olduğunca erken aşamada fark edilmesi	Hacimde gelişen yangının güvenilir biçimde algılanması
Tipik algılama bölgesi	Pano/kabinet, kritik ekipman, ekipman hava çıkışı, AHU/CRAH dönüş havası, kanal veya kontrollü taşınım yolu	Tavan, çatı veya genel hacim
Örnekleme yaklaşımı	Yerel/risk odaklı, pano-kabinet içi, hava dönüşü/taşınım yolu veya kanal içi örnekleme	Genel hacim örneklemesi
Dumanın durumu	Kaynağa yakın, yerel veya kontrollü bir taşınım güzergâhında; seyrelme sınırlı olabilir	Genel hacme yayılmış ve ortam havasıyla seyrelmiş olabilir
Hava hareketinin etkisi	Doğru tasarımda mekanik hava hareketi dumanı örnekleme noktasına taşıyarak erken algılama avantajı sağlayabilir	Hava hareketi dumanı seyreltebilir, yönünü değiştirebilir veya tavan seviyesine ulaşmasını geciktirebilir
Algılama zamanı	Genel hacim algılamasına göre daha erken algılama potansiyeli	Dumanın genel hacimde algılama noktasına ulaşmasına bağlı
EN 54-20 performans sınıfı	Risk ve erken uyarı hedefi doğrultusunda Sınıf A, B veya C	Koruma hedefi ve uygulamaya göre Sınıf A, B veya C
Sistem yaklaşımı	Kaynak ve taşınım yolu analiziyle belirlenen erken algılama katmanı	Genel alan korumasını sağlayan tamamlayıcı algılama katmanı
Birlikte kullanım	Riskin gerektirdiği durumlarda genel hacim algılamasıyla tamamlanır	Kaynak seviyesindeki erken algılamayı tek başına garanti etmez

Tablo 1. Birincil ve ikincil algılamanın karşılaştırması

11. ÖNERİLEN ERKEN ALGILAMA TASARIM METODOLOJİSİ

Aşama 1 - Riskin belirlenmesi

Aşama 2 - Muhtemel yangın başlangıç noktasının belirlenmesi

Aşama 3 - İlk duman oluşum bölgesinin belirlenmesi

Aşama 4 - Hava akışı ve duman taşınım analizi

Aşama 5 - En erken güvenilir algılama noktasının belirlenmesi

Aşama 6 - Örnekleme yönteminin belirlenmesi

Aşama 7 - Algılama teknolojisinin seçilmesi

Aşama 8 - Performans seviyesinin belirlenmesi

Aşama 9 - Akış tasarımı ve taşıma süresi hesabı

Aşama 10 - Genel hacim algılaması ile tamamlama

Aşama 11 - Sebep-sonuç senaryosunun oluşturulması

Aşama 12 - Devreye alma ve performans doğrulaması

12. EN 54-20 KAPSAMINDA ASD VE BİRİNCİL ALGILAMADAKİ ROLÜ

12.1. Aktif Hava Örneklemenin Erken Algılamadaki Rolü

Noktasal duman dedektörlerinde dumanın algılama elemanına ulaşması; termal kaldırma kuvveti, doğal konveksiyon ve ortam hava hareketlerine bağlıdır. Bu nedenle algılama süresi yalnızca dedektör hassasiyetinin değil, yangın kaynağı ile dedektör arasındaki mesafenin, hacim geometrisinin, hava hareketlerinin, dumanın seyrelmesinin ve olası stratifikasyonun da bir fonksiyonudur.

Hava örneklemeli duman algılama sistemlerinde (ASD) ise korunan bölgedeki hava, bir aspiratör yardımıyla boru ağı ve örnekleme noktalarından sürekli olarak çekilerek algılama hücresine taşınır. Bu aktif örnekleme prensibi, ASD'yi dumanın dedektör seviyesine doğal veya mekanik taşınımla ulaşmasını bekleyen noktasal algılama yaklaşımından fiziksel olarak ayırır. Bununla birlikte erken algılama üstünlüğü yalnızca aspiratörün varlığından kaynaklanmaz; örnekleme noktalarının yangın kaynağına, mikro çevreye veya dumanın erken taşındığı güzergâha doğru yerleştirilmesiyle anlam kazanır.

Bu nedenle ASD'nin birincil algılama açısından temel avantajı yalnızca yüksek hassasiyet değildir. Algılama noktasının elektrik panosu, kabinet, ekipman egzozu, yükseltilmiş döşeme, asma tavan, düşey şaft veya HVAC dönüş havası gibi riskin bulunduğu ya da ilk dumanın taşındığı bölgeye götürülebilmesi; dumanın genel hacme yayılıp önemli ölçüde seyrelmesi beklenmeden örneklenmesine imkân verir.

12.2. Birincil Algılama Açısından ASD

Bu bildiride tanımlanan birincil algılama yaklaşımının amacı, dumanı yalnızca genel hacimde aramak yerine oluştuğu veya ilk taşındığı fiziksel güzergâhta yakalamaktır. ASD teknolojisi, borulu örnekleme yapısı sayesinde örnekleme noktalarının risk kaynağına ve beklenen duman hareketine göre konumlandırılabilmesine olanak verdiğinden, bu yaklaşımın uygulanmasında özellikle elverişlidir.

FIA ASD uygulama kılavuzunda hava dönüşü/taşınım yolu örneklemesi (Primary Sampling), dumanın hava hareketleriyle taşınmasının veya belirli noktalarda toplanmasının beklendiği bölgelerden örnek alınması olarak ele alınmakta; özellikle hava hareketinin bulunduğu uygulamalarda çok erken uyarı hedefi için Sınıf A ASD sistemlerinin kullanımı önerilmektedir [3]. Bu özellik, yüksek hava hareketli kritik hacimlerde ASD'yi birincil algılama açısından güçlü bir çözüm haline getirir. Bununla birlikte dönüş havasına dayalı örneklemenin performansı HVAC sisteminin çalışma durumundan etkilenebileceğinden, riskin gerektirdiği uygulamalarda genel hacim algılamasıyla tamamlanmalıdır.

12.3. EN 54-20 Performans Sınıfları ve Sistem Hassasiyeti

EN 54-20, hava örneklemeli duman dedektörlerini kullanım amacına ve algılama performansına göre Sınıf A, Sınıf B ve Sınıf C olarak sınıflandırır [2]. Sınıf A çok yüksek hassasiyet/çok erken uyarı, Sınıf B artırılmış hassasiyet ve Sınıf C normal hassasiyet uygulamalarına yöneliktir. Ancak sınıflandırma yalnızca algılama hücresinin nominal hassasiyeti olarak değerlendirilmemelidir; örnekleme boru ağı ve örnekleme noktalarıyla birlikte sistemin doğrulanmış performansı esas alınmalıdır.

Sınıf	**Tasarım Hassasiyeti (obs/m)**	**Tepki Süresi**	Örnek Uygulama Alanı
Class A	0.015 – 0.1 obs/m	≤ 60 sn	Veri merkezi, temiz oda, UPS alanı
Class B	0.1 – 0.5 obs/m	≤ 90 sn	Ofis, depo, arşiv, müze
Class C	0.5 – 1.5 obs/m	≤ 120 sn	Genel amaçlı alanlar

Tablo 2. EN 54-20 Performans Sınıfları ve Sistem Hassasiyeti

Bir örnekleme noktasından çekilen dumanlı hava, aynı boru ağı üzerindeki diğer noktalardan çekilen daha temiz hava ile karışarak seyrelir. Bu nedenle örnekleme deliği sayısı ve konumu, boru uzunluğu ve çapı, delik çapları, hava akış dengesi ve algılama hücresinin hassasiyeti birlikte sistem performansını belirler. Başka

bir ifadeyle, cihaz hassasiyeti ile örnekleme noktasında elde edilen sistem hassasiyeti aynı kavram değildir. EN 54-20'ye uygun tasarımda hedeflenen sınıfın, üreticinin doğrulanmış boru tasarım sınırları içinde bütün örnekleme ağı için sağlanması gerekir [2][3].

Taşıma süresi de erken uyarı performansının önemli bileşenidir. FIA kılavuzu, korunan alandan alınan hava örneğinin ASD'ye taşınması için genel üst sınır olarak 120 saniyeyi belirtmekte; çok erken uyarının hedeflendiği Sınıf A uygulamalarında ise daha kısa taşıma sürelerinin tercih edildiğini ve bu hedefin risk değerlendirmesinde tanımlanması gerektiğini ifade etmektedir [3].

12.4. Hızlı Algılamadan Güvenilir Karara

ASD'nin mühendislik değeri yalnızca "daha hızlı alarm" olarak tanımlanmamalıdır. Aktif hava örnekleme, uygun konumlandırılmış örnekleme noktaları ve yüksek hassasiyet kapasitesi; yangının başlangıç aşamasındaki düşük konsantrasyonlu yanma ürünlerinin erken fark edilmesine imkân verebilir. Bununla birlikte erken uyarının kullanılabilir olması için çevresel etkiler, normal işletme kaynaklı partiküller, alarm eşikleri, gecikmeler ve varsa çok kademeli uyarı seviyeleri birlikte değerlendirilmelidir. Amaç yalnızca erken sinyal üretmek değil, mümkün olan en erken aşamada güvenilir ve işletilebilir bir yangın kararı oluşturmaktır.

Bu nedenle birincil algılama uygulamalarında performans; doğru örnekleme noktası, uygun EN 54-20 performans sınıfı, doğrulanmış boru ağı, kabul edilebilir taşıma süresi ve uygun alarm stratejisinin birlikte tasarlanmasıyla elde edilir. Sistemin planlama, yerleşim, devreye alma, kullanım, bakım ve diğer yangın güvenliği fonksiyonlarıyla ilişkisi ise TS CEN/TS 54-14 çerçevesinde ele alınmalıdır [1].

Sonuç olarak ASD'nin birincil algılama açısından temel üstünlüğü yalnızca yüksek hassasiyeti değildir. Asıl üstünlük, algılama noktasının yangının oluşabileceği mikro çevreye veya ilk dumanın taşındığı fiziksel güzergâha taşınabilmesi ve alınan hava örneğinin aktif olarak algılama hücresine ulaştırılmasıdır. EN 54-20 kapsamında doğrulanmış uygun performans sınıfı ve doğru örnekleme tasarımıyla birlikte kullanıldığında bu özellik, ASD'yi çok erken algılama hedeflenen kritik uygulamalar için güçlü ve teknik olarak uygun bir çözüm haline getirir.

13. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, erken yangın algılama tasarımında değerlendirme başlangıç noktasını yalnızca tavan geometrisi ve dedektör aralıklarından yangın kaynağı–mikro çevre–duman taşınımı–algılama noktası ilişkisine taşımaktadır. Erken algılama performansı; dedektörün nominal hassasiyetinin yanı sıra ilk dumanın oluştuğu yer, taşındığı fiziksel güzergâh, seyrelme ve hava hareketleriyle birlikte değerlendirilmelidir.

Bu çerçevede kaynak/risk odaklı, pano-kabinet içi, hava dönüşü/taşınım yolu, kanal içi, gizli hacim ve genel hacim algılama yaklaşımları birbirinin alternatifi olarak değil, yangın senaryosuna göre seçilebilen ve gerektiğinde birlikte kullanılabilen tamamlayıcı katmanlar olarak ele alınmıştır. Önerilen katmanlı model genel hacim algılamasının yerine geçmemekte; riskin gerektirdiği kritik uygulamalarda daha erken algılama katmanlarıyla desteklenmesini öngörmektedir.

ASD kullanılan uygulamalarda EN 54-20 kapsamındaki performans sınıfı yalnızca cihaz hassasiyeti olarak değerlendirilmemeli; örnekleme noktaları ve boru ağıyla birlikte doğrulanan sistem performansı esas alınmalıdır. Örnekleme noktalarının konumu, seyrelme, hava akış dengesi ve taşıma süresi bu doğrulamanın parçasıdır. Sistem planlama, yerleşim, devreye alma ve diğer yangın güvenliği fonksiyonlarıyla entegrasyon ise TS CEN/TS 54-14 çerçevesinde ele alınmalıdır.

Çalışmanın özgün katkısı, erken algılama problemini dedektör seçimi merkezli bir yaklaşımdan çıkararak kaynak–mikro çevre–taşınım–algılama noktası zinciri üzerinden sistematikleştirmesi ve bu yaklaşımı 11. Bölümde verilen risk bazlı tasarım adımlarına dönüştürmesidir. Bu nedenle temel mühendislik sorusu "En hassas dedektör hangisidir?" değil; "Yangın nerede başlayabilir, ilk duman nerede oluşur, hangi hava hareketiyle nereye taşınır ve bu dumanı en erken, güvenilir ve sürdürülebilir biçimde nerede algılayabiliriz?" olmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] TSE, TS CEN/TS 54-14 - Yangın tespit ve yangın alarm sistemleri - Bölüm 14: Planlama, tasarım, tesisat, işletmeye alma, kullanım ve bakım hususlarına dair kılavuz.

[2] CEN, EN 54-20 - Fire Detection and Fire Alarm Systems - Part 20: Aspirating Smoke Detectors.

[3] Fire Industry Association (FIA), Design, Installation, Commissioning and Maintenance of Aspirating Smoke Detector (ASD) Systems.

[4] British Standards Institution, BS 6266 - Fire Protection for Electronic Equipment Installations - Code of Practice.

[5] British Standards Institution, BS 5839-1 - Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings - Code of Practice for Design, Installation, Commissioning and Maintenance.

KISA ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında İzmir'in Bergama ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bergama'da tamamladı. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.

Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) İzmir Şubesinde 22, 24, 26 ve 27. dönemlerde Yönetim Kurulu Üyeliği, 29. Dönemde ise Şube Yönetim Kurulu Başkanlığı görevlerini üstlendi. Ayrıca EMO 42. Dönem Onur Kurulu Üyeliğinde bulundu. Bu süreçte VII. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Yürütme Kurulu Üyeliği görevini yürüttü.

EMO Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi (MİSEM) bünyesinde Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri Eğitmeni olarak katkı sağlamaktadır. Sektörel kongre ve sempozyumlarda bildiriler sunmuş; çeşitli panel ve forumlarda konuşmacı olarak yer almıştır.

Mezuniyetinden bu yana elektronik güvenlik sistemleri sektöründe faaliyet göstermekte olup, 2007 yılından itibaren Mavili Elektronik Tic. ve San. A.Ş. firmasında Ege Bölge Müdürü olarak görevini sürdürmektedir.

BİNALARIN YANGIN ALGILAMA VE UYARMA SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ ERKEN UYARI ALGORİTMALARI VE HATALI ALARMLARIN MİNİMİZASYONU

Ali Fuat AYDIN
Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir

ÖZET

Geleneksel yangın algılama sistemleri, ortamdaki duman yoğunluğu veya sıcaklık artışı gibi fiziksel değişimleri belirli eşik değerlerine göre analiz etmektedir. Ancak bu yöntem; yemek buharı, toz veya sigara dumanı gibi dış etkenler nedeniyle yüksek oranda "hatalı alarm" (false alarm) üretme riskine sahiptir. Hatalı alarmlar, özellikle yüksek katlı binalarda ve endüstriyel tesislerde hem ciddi bir panik ortamına hem de sistemin güvenilirliğinin kullanıcı nezdinde sorgulanmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, yangın algılama ve uyarma sistemlerine entegre edilen yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi (ML) tabanlı algoritmaların etkinliği incelenmektedir. Sensörlerden gelen verilerin zamansal analizi ve örüntü tanıma teknikleri kullanılarak, gerçek bir yangın ile çevresel gürültü arasındaki farkın ayırt edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, "Yeni Yangın Yönetmeliği" standartları çerçevesinde bu tür akıllı sistemlerin denetim süreçlerindeki yeri ve dijitalleşen yangın güvenliği çözümlerinin tahliye süreleri üzerindeki olumlu etkileri ele alınmaktadır.

Çalışma kapsamında, yapay zeka destekli algoritmaların geleneksel sistemlere göre yangını tespit etme hızı ve doğruluk payı, literatürdeki deneysel çalışmalar ve ilgili standartlar ışığında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın algılama sistemleri, yapay zeka, erken uyarı, hatalı alarm, yeni yangın yönetmeliği, dijitalleşme.

ABSTRACT

Traditional fire detection systems analyze physical changes such as smoke density or temperature increase based on specific threshold values. However, this method carries a high risk of generating "false alarms" due to environmental factors such as cooking steam, dust, or cigarette smoke. False alarms cause significant panic and lead users to question the reliability of the system, especially in high-rise buildings and industrial facilities.

This study examines the effectiveness of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) based algorithms integrated into fire detection and warning systems. By using temporal analysis of sensor data and pattern recognition techniques, it aims to distinguish between a real fire and environmental noise. Furthermore, within the framework of the "New Fire Regulation" standards, the role of such intelligent systems in inspection processes and the positive effects of digitalized fire safety solutions on evacuation times are discussed.

Within the scope of the study, the fire detection speed and accuracy rate of AI-supported algorithms are evaluated comparatively against traditional systems in light of experimental findings reported in the literature and the relevant standards.

Keywords: Fire detection systems, artificial intelligence, early warning, false alarm, new fire regulation, digitalization.

GİRİŞ

Binalarda can ve mal güvenliğinin sağlanmasında yangın algılama ve uyarma sistemleri, erken müdahale imkânı sunarak afetin büyümesini önleyen kritik bileşenlerdir. Türkiye'de bu sistemlerin tasarım, tesis ve işletme esasları, 19.12.2007 tarih ve 26735 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ve bu yönetmelikte 1 Temmuz 2025 tarihli ve 32943 sayılı Resmi Gazete ile yapılan kapsamlı değişiklikler çerçevesinde belirlenmektedir [4]. Sistemlerin teknik yeterliliği ise TS EN 54 serisi standartları ile güvence altına alınmaktadır [5].

Geleneksel yangın algılama cihazları; iyonizasyon, fotoelektrik veya ısıl esaslı sensörler aracılığıyla ortamdaki fiziksel değişimleri belirli eşik değerleriyle karşılaştırarak çalışmaktadır. Bu yaklaşımın en önemli zaafı, yemek buharı, toz, sigara dumanı veya nem gibi yangın dışı etkenlerin de eşik değerini aşarak alarm üretebilmesidir. Sensors dergisinde yayımlanan bir çalışmaya göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde konut yangınlarının %16'sında yangın alarm sistemleri beklenen şekilde çalışmamıştır; bu bulgu, hatalı alarmların yanı sıra algılama başarısızlıklarının da güvenlik açısından ne denli belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır [3]. Hatalı alarmlar yalnızca panik ve iş kaybına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda kullanıcıların sistemlere olan güvenini aşındırarak gerçek bir yangın anında tepki süresinin uzamasına yol açma riski taşımaktadır.

Son yıllarda yapay zeka (YZ) ve makine öğrenmesi (ML) tabanlı yöntemlerin yangın algılama ve alarm sistemlerine entegrasyonu, hem algılama doğruluğunu artırma hem de hatalı alarm oranını azaltma potansiyeli nedeniyle yoğun ilgi görmektedir [1,2]. Bu bildiride, sensör verilerinin zamansal analizine dayanan klasik makine öğrenmesi algoritmaları ile görüntü tabanlı derin öğrenme yaklaşımları incelenmekte; bu yöntemlerin geleneksel sistemlere kıyasla sağladığı üstünlükler, Yeni Yangın Yönetmeliği ve TS EN 54 standartları çerçevesindeki denetim süreçlerindeki yeri ve tahliye süreleri üzerindeki olası etkileri tartışılmaktadır.

Çalışmanın kapsamı bu noktada açıkça belirtilmelidir: bildiri, özgün bir veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen bir deneysel çalışmayı değil; yayımlanmış literatürdeki deneysel bulguların, ilgili standartların ve mevzuatın bir araya getirilerek değerlendirildiği bir derleme (review) ve durum tespiti niteliği taşımaktadır. Bölüm 4'te sunulan karşılaştırmalı değerlendirme ve sayısal göstergeler, test ortamında elde edilen sonuçlar değil, [1-3] numaralı kaynaklarda raporlanan bulguların derlenmiş bir özetidir. Türkiye'deki gerçek bina verileriyle yapılacak özgün bir pilot uygulama, Sonuç bölümünde belirtildiği üzere gelecek çalışma olarak planlanmaktadır.

1. GELENEKSEL YANGIN ALGILAMA SİSTEMLERİ VE HATALI ALARM SORUNU

1.1. Algılama İlkeleri

TS EN 54 serisi standartları kapsamında sınıflandırılan yangın dedektörleri; duman (iyonizasyon ve fotoelektrik), ısı, alev (UV/IR) ve gaz esaslı olmak üzere farklı fiziksel prensiplerle çalışmaktadır [5]. Her dedektör tipi belirli yangın senaryolarında avantaj sağlarken, farklı ortam koşullarında yanlış pozitif üretmeye eğilimlidir; örneğin fotoelektrik duman dedektörleri buhara ve toza, ısı dedektörleri ise yavaş gelişen yangınlara karşı sınırlı duyarlılık göstermektedir.

1.2. Hatalı Alarmların Kaynakları ve Sonuçları

Hatalı alarmlar; mutfak buharı, sigara dumanı, inşaat tozu, yoğun nem ve elektromanyetik girişim gibi çevresel etkenlerden kaynaklanabilmektedir. Bu durum yalnızca bina kullanıcılarında gereksiz tahliye ve

iş kaybına yol açmakla kalmamakta, itfaiye ekiplerinin gerçek yangın olaylarına müdahale kapasitesini de olumsuz etkilemektedir [2,3]. Sürekli tekrarlanan hatalı alarmlar, zamanla kullanıcıların alarm sinyaline verdiği tepkiyi zayıflatmakta ve bu durum gerçek bir yangın anında hayati risk oluşturmaktadır.

Ayrıca, TS EN 54 serisinin öngördüğü yıllık periyodik bakım/test işlemleri sırasında dedektörlerin bizzat test edilmesi nedeniyle sıklıkla hatalı alarmlar üretilmektedir. Bina kullanıcıları zamanla bu alarmları "bakım çalışması" olarak yorumlayıp görmezden gelmeyi öğrenmekte; bu durum, bakım dönemlerinde veya hemen sonrasında meydana gelebilecek gerçek bir yangında tahliye kararının gecikmesi riskini katlanarak artırmaktadır [3].

2. YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI YAKLAŞIMLAR

2.1. Sensör Verilerinin Zamansal Analizi ve Öznitelik Çıkarımı

Sensörlerden elde edilen sıcaklık, duman yoğunluğu, nem ve gaz konsantrasyonu gibi zaman serisi verileri; hareketli ortalama, standart sapma ve değişim hızı gibi istatistiksel özniteliklere dönüştürülerek modele girdi olarak sunulmaktadır. Bu sayede, ani ve düzensiz bir yükselişle karakterize olan gerçek bir yangın olayı ile daha yumuşak ve öngörülebilir bir seyir izleyen çevresel gürültü (örneğin ısıtma sisteminin devreye girmesi) birbirinden ayrıştırılabilmektedir.

Bir IoT tabanlı duman algılama veri kümesi üzerinde yapılan korelasyon analizi, alarm durumuyla en güçlü ilişkiye sahip parametrelerin hava nem oranı (humidity) ve hava basıncı (pressure) ile -ters yönlü olarak- toplam uçucu organik bileşik miktarı (TVOC) ve ham etanol/hidrojen gazı (Raw Ethanol/Raw H2) ölçümleri olduğunu ortaya koymuştur; bu bulgu, model girdisi olarak hangi özniteliklerin önceliklendirilmesi gerektiği konusunda somut bir kılavuz sunmaktadır [2].

2.2. Klasik Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Lojistik regresyon, karar ağaçları, rastgele orman (Random Forest), k-en yakın komşu (KNN), destek vektör makineleri (SVM) ve gradyan artırma yöntemleri (XGBoost, AdaBoost) gibi klasik algoritmalar; dengesiz veri kümelerinde SMOTE benzeri yeniden örnekleme teknikleriyle birlikte kullanıldığında yüksek doğruluk ve düşük hatalı alarm oranı sağlayabilmektedir. Nitekim referans alınan bir çalışmada, "Alarm" ve "Alarm Yok" sınıfları arasında belirgin bir sayısal dengesizlik (44.757'ye karşı 17.873 örnek) bulunduğu, SMOTE ile bu dengesizlik giderildikten sonra tüm modellerin doğruluk ve F1-skor değerlerinde belirgin bir iyileşme gözlendiği raporlanmıştır [2]. Aynı çalışmada, yoğunluk tabanlı ağırlıklandırma ile KNN ve XGBoost modellerinin birleştirildiği bir topluluk (ensemble) yaklaşımının, tekil modellere kıyasla daha tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [2].

2.3. Derin Öğrenme ve Görüntü Tabanlı Yaklaşımlar

Kapalı devre kamera görüntülerinin analiz edildiği sistemlerde evrişimli sinir ağları (CNN) ve YOLO, Faster R-CNN gibi nesne tespiti mimarileri, alev ve duman bölgelerini gerçek zamanlı olarak sınıflandırabilmektedir. Güncel bir derleme çalışması, bu mimarilerin özellikle karmaşık aydınlatma koşullarında ve geniş açık alanlarda geleneksel eşik tabanlı yöntemlere kıyasla belirgin bir doğruluk artışı sağladığını, ancak sınırlı ve çeşitliliği düşük veri kümelerinin model genellemesini kısıtladığını vurgulamaktadır [1]. Çok kipli (multimodal) veri füzyonu, yani RGB ve kızılötesi görüntülerin birlikte değerlendirilmesi, hatalı alarm oranını daha da azaltan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır [1].

Gerçek zamanlı performans açısından acil durum uygulamalarının genellikle 100 ms'nin altında çıkarım (inference) süresi gerektirdiği, buna karşılık optimize edilmemiş derin öğrenme modellerinin gömülü donanımlarda kare başına 1 saniyenin (1000 ms) üzerine çıkabildiği raporlanmıştır; bu fark, model seçiminde doğruluk ile gerçek zamanlılık arasındaki dengeyi belirleyici kılmaktadır [1]. Ayrıca, görüntü tabanlı sistemlerde yanlış alarma yol açan görsel karıştırıcıların yalnızca buhar ve nemle sınırlı olmadığı; güneş parlaması, araç farları, sis ve bulut yansımaları ile kırmızı renkli hareketli nesnelerin de model tarafından yangınla karıştırılabildiği tespit edilmiştir [1].

2.4. Kestirimci Bakım ve Anomali Tespiti

Yapay zeka yalnızca yangın anının tespitinde değil, dedektörlerin arıza öngörüsünde de kullanılmaktadır. Çevrimiçi anomali tespiti yaklaşımları, duman dedektörlerinin zaman içindeki davranışını modelleyerek olağan dışı örüntüleri belirlemekte ve böylece periyodik bakım yerine duruma dayalı (kestirimci) bakım planlaması yapılmasına imkân tanımaktadır [3]. Bu yaklaşım, TS EN 54 serisinin öngördüğü yıllık test yükümlülüklerinin ötesinde, sistem güvenilirliğinin sürekli olarak izlenmesini sağlamaktadır.

2.5. Uçta İşleme (Edge) ve Bulut Mimarisi Arasındaki Mühendislik Dengesi

Geleneksel yangın dedektörleri, düşük güç tüketen ve sınırlı işlem kapasitesine sahip mikrodenetleyici tabanlı devrelerle çalışmaktadır. Buna karşılık, Bölüm 2.3'te ele alınan CNN, YOLO ve Faster R-CNN gibi derin öğrenme mimarileri, gerçek zamanlı çıkarım için önemli ölçüde işlem gücü (GPU/NPU) gerektirmektedir. Bu gereksinim, yangın algılama sisteminin mimarisinde temel bir mühendislik tercihini gündeme getirmektedir: model, saha cihazının üzerinde (uçta/edge) mi, yoksa merkezi bir sunucuda veya bulutta mı çalıştırılacaktır?

Uçta işleme; NVIDIA Jetson, Google Coral TPU, Intel Movidius veya Raspberry Pi gibi düşük güçlü donanımlarda tam boyutlu modeller yerine MobileNetV3, YOLO-tiny, ShuffleNet ve MobileViT gibi hafifletilmiş (lightweight) mimarilerin, gerekirse budama (pruning), nicelleştirme (quantization) ve bilgi damıtma (knowledge distillation) gibi sıkıştırma teknikleriyle birlikte kullanılmasına dayanmaktadır [1]. Bu yaklaşım ağ bağlantısına bağımlılığı azaltmakta ve gecikmeyi (latency) düşürmektedir; ancak model boyutunun ve dolayısıyla doğruluğunun donanım kısıtları nedeniyle sınırlı kalması riskini taşımaktadır. Merkezi/bulut tabanlı işleme ise daha büyük ve karmaşık modellerin çalıştırılmasına imkân tanısa da, iletişim gecikmesi, gerekli veri bant genişliği ve -yangın güvenliği açısından en kritik nokta olan- ağ bağlantısı kesildiğinde algılama işlevinin devre dışı kalma riski gibi ek zafiyetler doğurmaktadır. Bu nedenle, hayati önem taşıyan yangın algılama uygulamalarında, ağ bağımlılığını en aza indiren uçta işleme mimarilerinin veya en azından yerel bir yedekleme (fallback) mekanizmasının tercih edilmesi önerilmektedir.

3. YENİ YANGIN YÖNETMELİĞİ VE TS EN 54 STANDARTLARI ÇERÇEVESİNDE AKILLI SİSTEMLERİN DENETİM SÜRECİNDEKİ YERİ

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 6 ncı maddesinin beşinci fıkrası, yapı ruhsatı vermeye yetkili idarelere; yangın söndürme, algılama ve tahliye projelerinin ve uygulamalarının yönetmelik hükümlerine uygunluğunu denetleme yükümlülüğü getirmektedir [4]. 21 Ocak 2025 tarihinde Bolu ili Kartalkaya'da 78 kişinin hayatını kaybettiği otel yangınının ardından, yönetmeliğe 1 Temmuz 2025 tarihli ve 32943 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan değişiklikle Geçici Madde 4 eklenmiştir; bu madde, mevcut binalardaki malzeme temini gerektiren yangın güvenliği eksikliklerinin bina sahibi, yöneticisi ve kurum amirlerince giderilmesi için idareye bir uygulama takvimi vermekte ve sürenin sonunda ruhsat vermeye yetkili idarelerce denetim yapılmasını öngörmektedir [4]. Açıklık adına belirtilmelidir ki, söz konusu 2025 değişik-

liği yapay zeka veya dijital algılama sistemlerine dair açık ve özel bir hüküm içermemekte; bu nedenle akıllı sistemlerin denetimi, yönetmeliğin Madde 6/5'te tanımlanan genel denetim çerçevesi ve TS EN 54 serisi ürün standartları üzerinden dolaylı olarak yürütülmektedir [4,5].

3.1. TS EN 54 Tip Onayı ve Kara Kutu (Black-Box) Sorunu

TS EN 54 serisinin ürün standartları (örneğin nokta tipi duman dedektörlerini kapsayan TS EN 54-7, ısı dedektörlerini kapsayan TS EN 54-5 ve kontrol/gösterge ekipmanını kapsayan TS EN 54-2), belirli test ateşlerine (test fires) karşı deterministik ve tekrarlanabilir tepki eşiklerini esas alan katı laboratuvar test protokolleri öngörmektedir [5]. Derin öğrenme tabanlı algılama algoritmalarının karar mekanizması ise büyük ölçüde "kara kutu" niteliğindedir; aynı girdi kümesine model güncellemesi sonrasında farklı bir çıktı üretilebilmesi, klasik tip onayı (type approval) sürecinin temelini oluşturan durum bağımsız ve tekrarlanabilir davranış varsayımıyla gerilim yaratmaktadır. Bu nedenle, YZ tabanlı bir algılama biriminin CE işaretlemesi ve TS EN 54 tip onayı alabilmesi için modelin donmuş (frozen) bir sürüm olarak sertifikalandırılması, sınıflandırma kararlarının açıklanabilir yapay zeka (XAI) yöntemleriyle (örn. Grad-CAM, SHAP, LIME) izlenebilir kılınması ve her model güncellemesinin yeniden test edilmesi gibi ek doğrulama adımlarına ihtiyaç duyulmaktadır [1].

3.2. Sorumluluk (Liability) Sorunu

Yapay zeka destekli bir sistemin yangını geç algılaması veya hatalı biçimde gerçek bir yangın olayını gürültü olarak sınıflandırması (false negative) durumunda ortaya çıkacak hukuki ve mesleki sorumluluğun; cihaz üreticisi, projeyi imzalayan serbest müşavir mühendis (SMM), tesisatı kuran yüklenici ve binanın yönetimi arasında nasıl paylaşılacağı, mevcut mevzuatta açıkça düzenlenmemiş bir konudur. Bu belirsizlik, akıllı bina ve yangın güvenliği literatüründe güncel bir tartışma alanı oluşturmaktadır; konunun ilgili yönetmelik ve standartlarda -örneğin performans garantisi kapsamının ve model güncellemelerinden doğan sorumluluğun tanımlanması yoluyla- netleştirilmesi, uygulamada hukuki belirsizliği azaltacaktır. Bu bildiri bir hukuki görüş sunmamakta, yalnızca teknik literatürde yer alan bu açık soruna dikkat çekmektedir.

4. GELENEKSEL VE YAPAY ZEKA DESTEKLİ SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Literatürde yer alan çalışmalar, yapay zeka destekli sistemlerin geleneksel eşik tabanlı sistemlere kıyasla üç temel eksende farklılaştığını göstermektedir: algılama doğruluğu, hatalı alarm oranı ve tepki süresi [1,2,3]. Aşağıdaki tabloda bu eksenler, ilgili kaynaklarda raporlanan sayısal bulgularla birlikte karşılaştırılmıştır; tablodaki YZ/ML sütunundaki değerler atıf yapılan çalışmalardan derlenmiştir.

Değerlendirme Kriteri	Geleneksel Eşik Tabanlı Sistemler	YZ / ML Destekli Sistemler
Algılama doğruluğu	Ortam koşullarına duyarlı, TS EN 54 tip testlerinde sabit eşiklerle orta düzey	Ağırlıklı topluluk (KNN+XGBoost) modelinde %99,98 doğruluk; karar ağacı ve rastgele ormanda %99,9'un üzerinde doğruluk raporlanmıştır [2]
Hatalı alarm oranı	Yüksek (çevresel gürültüye duyarlı)	Aynı çalışmada %99,98 kesinlik (precision) ve %99,98 F1-skoru elde edilmiştir; bir başka sahada, bir müşteriye ait dört olası arızanın üçünde anomali tabanlı yaklaşım hiç yanlış pozitif üretmeden (precision=1) tespit yapmıştır, ancak diğer müşterilerde bu performans tutarlı biçimde tekrarlanamamıştır [2,3]
Algılama/tepki hızı	Eşik aşımına bağlı, sabit gecikme	Görüntü tabanlı yöntemlerde bazı mimarilerde mAP değerinde %15'e varan iyileşme; çok kipli (RGB-kızılötesi) füzyonda %90'ın üzerinde kesinlik/duyarlılık raporlanmıştır [1]
Bakım yaklaşımı	Periyodik (TS EN 54 uyarınca yıllık test)	Kestirimci, anomali tabanlı [3]
Uygulama maliyeti	Düşük ilk yatırım	Daha yüksek ilk yatırım (donanım, yazılım güncelleme ve siber güvenlik gereksinimleri dahil), uzun vadede işletme kazancı

Tabloda aktarılan sayısal değerler, ilgili çalışmaların kendi veri kümeleri ve deneysel koşulları için geçerlidir; farklı sensör tipleri, ortamlar ve veri kümelerinde performansın değişebileceği, bu nedenle değerlerin doğrudan genellenemeyeceği unutulmamalıdır. Tabloda özetlenen eğilimler, yapay zeka destekli sistemlerin özellikle hatalı alarm oranının azaltılmasında geleneksel sistemlere kıyasla belirgin bir üstünlük sunduğunu, ancak bu üstünlüğün ilk yatırım maliyeti ve model doğrulama gereksinimleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Uygulama maliyeti eksenindeki farkın yalnızca donanımdan kaynaklanmadığı da vurgulanmalıdır. YZ/ML destekli sistemlerin ağa bağlı (IoT) ve çoğunlukla bulut tabanlı bileşenler içermesi, yangın alarm panellerini yetkisiz erişim, sahte sensör verisi enjeksiyonu veya alarmın kasıtlı olarak devre dışı bırakılması gibi siber güvenlik risklerine açık hale getirebilmektedir [1]. Bu nedenle, sistem maliyeti değerlendirilirken ağ güvenliği önlemleri ve düzenli yazılım güncellemeleri de kapsam dahilinde ele alınmalıdır.

5. TAHLİYE SÜRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Erken ve doğru yangın algılaması, tahliye planlamasının en kritik girdisidir; algılama ile alarm arasındaki gecikmenin her saniyesi, özellikle yüksek katlı ve yoğun kullanımlı binalarda tahliye süresini doğrudan uzatmaktadır. Yapay zeka destekli sistemlerin, yangının erken gelişim evresinde -alev oluşmadan önce, yalnızca duman ve ısı örüntüsü üzerinden- ayırt edici sinyaller üretebilmesi; bina yönetim sistemlerine (BMS) entegre edildiğinde tahliye anonslarının ve yönlendirmeli acil aydınlatma sistemlerinin daha erken devreye girmesini mümkün kılmaktadır.

Ayrıca, hatalı alarm oranının azaltılması dolaylı yoldan tahliye güvenilirliğini artırmaktadır; zira sık tekrarlanan asılsız alarmlar, kullanıcılarda gerçek bir alarma karşı tepki süresini uzatan bir alışkanlık (alarm yorgunluğu) oluşturmaktadır. Bu nedenle, yapay zeka destekli erken uyarı sistemlerinin katkısı yalnızca algılama performansıyla değil, kullanıcı davranışına olan dolaylı etkisiyle birlikte değerlendirilmelidir.

SONUÇ

Bu çalışmada, binalardaki yangın algılama ve uyarma sistemlerinde yapay zeka ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların geleneksel eşik tabanlı yöntemlere kıyasla sunduğu katkılar; algılama doğruluğu, hatalı alarm oranı, bakım yaklaşımı ve tahliye süreleri eksenlerinde değerlendirilmiştir. Literatür taraması, çok

değişkenli sensör analizi ve derin öğrenme tabanlı görüntü işleme yöntemlerinin, özellikle hatalı alarm sorununun azaltılmasında geleneksel sistemlere kıyasla belirgin bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır [1,2,3].

Bununla birlikte, bu potansiyelin sahada güvenilir biçimde hayata geçirilebilmesi; TS EN 54 serisi standartlarıyla uyumlu donanım seçimi, Yeni Yangın Yönetmeliği kapsamındaki denetim süreçlerine algoritmik performans testlerinin dahil edilmesi ve yeterli çeşitlilikte saha verisiyle model doğrulaması yapılmasına bağlıdır [4,5]. Ayrıca, YZ tabanlı algılama birimlerinin TS EN 54 tip onayı süreçlerindeki kara kutu sorunu ve yangının geç algılanması durumunda ortaya çıkabilecek sorumluluk paylaşımının mevzuatta netleştirilmesi, bu sistemlerin yaygınlaşması önündeki önemli açık noktalar olarak değerlendirilmektedir.

Bu bildiri, belirtildiği üzere, özgün bir deneysel çalışmadan ziyade literatür taramasına ve mevcut mevzuata dayanan bir durum tespiti niteliğindedir. Gelecek çalışmalarda, Türkiye'deki farklı bina tipolojilerinden toplanacak gerçek saha verileriyle önerilen yaklaşımların pilot ölçekte test edilmesi, elde edilecek doğruluk, hatalı alarm oranı ve F1-skoru gibi metriklerin raporlanması ve maliyet-fayda analizinin yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] ELHANASHI, A., ESSAHRAUI, S., DINI, P., SAPONARA, S., "Early Fire and Smoke Detection Using Deep Learning: A Comprehensive Review of Models, Datasets, and Challenges", Applied Sciences, Cilt 15, Sayı 18, Say. 10255, 2025

[2] JAMAL, M.H. ve diğerleri, "Optimizing Fire Safety: Reducing False Alarms Using Advanced Machine Learning Techniques", arXiv preprint, No. 2503.09960, 2025

[3] SOUSA TOMÉ, E., RIBEIRO, R.P., DUTRA, I., RODRIGUES, A., "An Online Anomaly Detection Approach for Fault Detection on Fire Alarm Systems", Sensors, Cilt 23, Sayı 10, Say. 4902, 2023

[4] T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik", Resmi Gazete, Sayı 26735, 2007 (Değişiklik: Resmi Gazete, Sayı 32943, 2025)

[5] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, "TS EN 54 Serisi - Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri", TSE, Ankara

KISA ÖZGEÇMİŞ

Ali Fuat AYDIN

1998 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2002 yılından itibaren TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası'nın çeşitli şubelerinde ve Oda Merkezinde farklı görevler üstlenmiş olup 2022 yılından bu yana EMO İzmir Şubesi Teknik Müdürü olarak görev yapmaktadır.

Elektrik iç tesisleri, topraklama, yıldırımdan korunma ve yangın algılama-alarm sistemlerinin denetimi konularında EMO İzmir ve İstanbul Şubesi bültenlerinde, Elektrik Mühendisliği Dergisi'nde ve ulusal kongre bildiri kitaplarında 50'den fazla teknik yazı ve bildirisi yayımlanmıştır. Bu çalışmalar arasında TS CEN/TS 54-14 standardı kapsamında yangın algılama ve alarm sistemleri uygulamalarının denetimine ilişkin iki ayrı yayın da yer almaktadır.

Türk Standardları Enstitüsü (TSE) bünyesinde; aralarında MTC 096 (Yangın) ve MTC 195 (Yapay Zeka) ayna komitelerinin de bulunduğu çok sayıda teknik komitede üye olarak yer almaktadır.

BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİĞİN YENİ DEĞİŞİKLİK TASLAĞINDA ZORUNLU PERİYODİK DENETİMLER

Abdurrahman İNCE

ÖZET

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin yeni değişiklik taslağında zorunlu periyodik denetimler getirilmektedir. Bu şimdiye kadar eksik kalan çok önemli bir husustur. Taslakta, yangın güvenlik önlemlerinin periyodik kontrolünü yapacak görevlilerin seçilmesi ve eğitimi hususlarında iyileştirilmesi gereken unsurlar bulunmaktadır. Bu çalışmada bu unsurlar irdelenerek ilgilileri ve kamuyu aydınlatmak hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Yeni Değişiklik Taslağı, Periyodik Denetimler, Yangın Güvenliği Denetçisi

MANDATORY PERIODIC INSPECTIONS IN THE NEW DRAFT AMENDMENT TO THE REGULATION ON FIRE PROTECTION OF BUILDINGS

ABSTRACT

The new draft amendment to the Regulation on Fire Protection of Buildings introduces mandatory periodic inspections. This addresses a crucial aspect that had previously been overlooked. The draft contains elements requiring improvement regarding the selection and training of personnel responsible for the periodic inspection of fire safety measures. This study aims to examine these elements and inform relevant stakeholders and the public.

Keywords: Regulation on Fire Protection of Buildings, New Draft Amendment, Periodic Inspections, Fire Inspector

1- GİRİŞ

Ülkemizde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, geneli kapsayacak şekilde ilk 2002 yılında yürürlüğe girmiş ve 2007 yılında tamamen yenilenmişti. Sonrasında da çok sayıda revizyon ve değişiklik yapıldı. Günümüzde üzerinde çalışılan ve yakın bir zamanda yürürlüğe girmesi beklenen son değişiklik taslağında en önemli değişiklik, zorunlu periyodik denetimler olup bu çalışmada bu hususun üzerinde durulmaktadır.

2- ZORUNLU PERİYODİK DENETİMLERE OLAN İHTİYAÇ

Bolu Kartalkaya Kayak Merkezi'ndeki Grand Kartal Otel'de 21 Ocak 2025 gecesi çıkan yangında 34'ü çocuk olmak üzere 78 kişi hayatını kaybetmiş, 130'un üzerinde kişi yaralanmıştı. Bu facianın kök sebeplerinin çalışmayan yangın güvenlik sistemleri ile yangın güvenlik önlem eksiklikleri olduğunun anlaşılmasının ardından ülke çapında yoğun denetimler yapıldı.

Bir musibet bin nasihatten evladır denilmiştir ama ülkemizde maalesef musibetlerden bile ders çıkaramayacak seviyede bir cehalet hakimdir. Bir an önce bilgi toplumu haline gelmemiz en büyük temennimizdir. 2009 araştırmasına göre en çok okuyan toplum Japon toplumu olup ortalamaları yılda 25 kitap çıkmıştır. Avrupa'nın ortalaması yılda 10 kitap, ülkemizin ortalaması ise on yılda bir kitap çıkmıştır. Problemlerimizin temeli, bu az okumamıza dayanmakta olup başta acil durum bilgileri olmak üzere okuma seferberliği yapılmalıdır. Kartalkaya faciası musibetinden çok önemli dersler çıkarılmıştır. Bunların başında da artık uygulanacak olan **zorunlu periyodik denetimler** gelmektedir.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte bugüne kadar zorunlu periyodik denetimler bulunmadığından biri yapı (iskan) ruhsatı verilmesi aşamasında ve diğeri yapı kullanma izin belgesi (işyeri açma ve çalıştırma ruhsatı) verilmesi aşamasında olmak üzere birer defaya mahsus bu yönetmeliğe uygunluk denetimleri yapılmakta ve bir daha maalesef denetim yapılmamaktadır.

3- TASLAKTA ZORUNLU PERİYODİK DENETİM İLE İLGİLİ MADDELER

Yeni değişiklik taslağında 131. maddenin başlığı "Denetim" [1] yerine **"Denetim ve kontrol"** [2] olarak değiştirilmekte ve ihdas edilen Ek-16'daki "**Yangın Güvenlik Önlemlerinin Periyodik Kontrolü"** başlıklı tabloda; binaların kullanım sınıflarına göre 12, 18 ve 24 aylık periyodlarla zorunlu denetimler öngörülmektedir.

11.07.2025 tarihli ilk taslakta [2] bu denetimleri yapacak görevliler YU1 (Temel Seviye Yangın Uzmanı) ve YU2 (İleri Seviye Yangın Uzmanı) olarak tarif edilmiş, sonraki taslak metinlerinde YGU1, YGU2, YGU3 ve YGU4 olarak yer almış ve sonra YGU4 yerine YGU-K (Kimya/Malzeme Uzmanı) olarak revize edilmiştir.

İlk taslakta "Yangın Uzmanı: Bakanlık veya Bakanlıkça yetkilendirilmiş eğitici kurum veya kuruluşlar tarafından verilen eğitimde başarılı olan, nitelikleri Bakanlık tarafından belirlenen kişileri ifade eder." olarak tanımlanmıştır. Ayrıca 6. maddenin 4. fıkrasında ise; "Bu Yönetmelik hükümlerine uyulmaması sebebiyle meydana gelen yangın hasarlarından dolayı; Yangın güvenlik raporu düzenleyen itfaiye teşkilatı veya yangın uzmanı, kusurlarına göre sorumludur." hükmü yer almaktadır.

Öncelikle bu taslakta bahsi geçen görev için Yangın Uzmanı ve Yangın Güvenlik Uzmanı terimleri doğru seçilmemiştir ve ayırt edici değildir. Çünkü yangın uzmanlığının da yangın güvenlik uzmanlığının da birçok alt disiplini vardır. Bu görev ise binaları, yangın güvenlik mevzuatına ve ilgili standartlarına göre denetleyerek ve kontrol ederek uygunluk raporu hazırlamak şeklinde çerçevesi belirli bir görevdir. Ayrıca yönetmelikte yer alacağı ilgili maddenin başlığı "Denetim ve kontrol"dür. Buna göre bu görev için "Yangın Güvenlik Denetçisi veya Kontrolörü veya Müfettişi" terimlerinden birinin kullanılması daha doğru ve ayırt edici olacaktır. Aslında Ek-16'nın başlığı; "Yangın Güvenlik Önlemlerinin Periyodik Kontrolü" olarak görevi doğru biçimde tanımlamıştır.

4- ABD ÖRNEĞİNDE YANGIN DENETÇİLERİ İÇİN MESLEKİ YETERLİLİKLER STANDARDI (NFPA 1031)

Ülkemiz için bu zorunlu periyodik denetimler her ne kadar yeni olsa da diğer ülkelerde çok eskiden beri uygulandığı bilinmektedir. Açık kaynak olarak ABD'de bu görev ilk 1972 yılında tanımlanmış ve "NFPA 1031 Standard for Professional Qualifications for Fire Inspector [Yangın Denetçileri için Mesleki Yeterlilikler Stan-

dardı]" ilk 1977 yılında yürürlüğe girmiştir. 1998 yılı ve sonrası için "NFPA 1031 Standard for Professional Qualifications for Fire Inspector and Plan Examiner" [3] olarak geliştirilmiştir.

Bu standartta istenilen bilgi ve becerilerin kazandırılacağı müfredatı içeren "Fire Inspection and Code Enforcement" [4] adlı ders kitabı ile sınavlarda kullanılacak soruları, anketleri ve kontrol listelerini içeren "Study Guide for IFSTA Fire Inspection and Code Enforcement" [5] adlı rehber kitap Oklahoma State University tarafından basılmaktadır.

NFPA 1031'in yürürlükte olan son versiyonunda üç seviye yangın denetçisi [Fire Inspector I, II ve III] tanımlanmaktadır. Öncelikle bu standardın A.1.3.1 maddesinde; "Yangın denetçisi olarak eğitim almak ve çalışmak için, komite, adayın en azından yangının özellikleri ve davranışı (temel yangın nedeni belirleme dahil) ve yangın önleme prensipleri hakkında temel bilgiye, ayrıca yazılı ve sözlü iletişim, halkla ilişkiler ve temel matematik (yani, tam sayılar, kesirler ve ondalık sayılar; yüzdeler, ortalamalar ve tahminler; cebirsel denklemler; üsler ve kökler; oranlar ve orantılar; ve doğrusal yüzey ve hacim ölçümleri) becerisine sahip olması gerektiğine karar vermiştir. Bu bilginin kanıtı, kurum tarafından sağlanan eğitim oturumlarına katılım, eğitim sertifikaları ve lise veya üniversite derslerinin belgelendirilmesiyle gösterilebilir. Komitenin amacı, bu gerekliliğin bir parçası olarak üniversite düzeyinde ders alınmasını şart koşmak değildir. Yetkili merci, istihdam edeceği denetçiler için kanıt türünü ve hazırlık düzeyini belirlemelidir." denilmektedir.

Ayrıca; Yangın Denetçiliğine (Yangın Güvenlik Uzmanlığına) başvuracak aday için öncelikle yukarıda sıralandığı gibi bazı ön şartlar isteniyor. Sonrasında birinci seviye yangın denetçisi olabilmek için 22 adet gerekli bilgi ve gerekli beceri isteniyor. İkinci seviye yangın denetçisi için bu 22›ye ilaveten 23 adet daha gerekli bilgi ve gerekli beceri isteniyor, etti: 45. Üçüncü seviye yangın denetçisi için bu 45›e ilaveten 20 adet daha gerekli bilgi ve gerekli beceri isteniyor. Böylece üçüncü seviye yangın denetçisinin 65 adet gerekli bilgi ve beceriye sahip olması gerekiyor ve üçüncü seviye yangın denetçisinin birinci ve ikinci seviyenin eğitiminde hocalık yapabileceği ifade ediliyor.

5- ÜLKEMİZDE 2002'DEN BERİ BU DENETİMLERİ YAPAN İTFAİYE GÖREVLİLERİ

Bizde ise henüz böyle bir standart bulunmamakla birlikte, 40 ila 80 saatlik eğitim müfredatı ile sınav öngörülmektedir. Hazırlanan eğitim müfredatı taslağı ise mimar odası ve bazı mühendis odaları ile birlikte 13 üniversitenin rektörlüğüne görüş ve öneri istemek için gönderilmiştir. Ancak hiçbir itfaiye daire başkanlığına/müdürlüğüne görüş ve öneri istemek için gönderilmemiştir. Halbuki 2002'den beri bu mevzuatı bilfiil uygulayanlar itfaiye teşkilatlarındaki mimar ve mühendislerdir. Hem mevzuata hakimdir, hem yıllarca bunu uyguladıkları için tecrübe sahibidir hem de yangının davranışlarını ve tehlikelerini herkesten iyi bilmektedirler.

6- YANGIN GÜVENLİK DENETÇİSİNİN EHLİYETİ

Elbette bu yeni dönemde zorunlu periyodik denetimler için itfaiye teşkilatlarının personel sayıları yetersiz kalacaktır. İtfaiye personellerine ilaveten, bu yeni görev için 10.000 kişiden fazla görevliye ihtiyaç olacaktır. Ancak hazırlanan taslak çalışmalarda birçok mühendislik dalının bu görev için başvuru yapamayacağı hükme bağlanmaktadır. Kimya Mühendislerinin bile sadece YGU-K için başvuruda bulunabileceği, YGU1, YGU2 ve YGU3 görevlerinde yer alamayacağı hükme bağlanmaktadır. Halbuki NFPA 1031'de bu görevlerin hiçbiri için üniversite mezunu olma şartı bile istenmemektedir. Buna mukabil yukarıda belirtildiği gibi 22, 45 ve 65 adet **bilgi ve beceri sahibi olma şartı** istenmektedir.

Bir yangın güvenlik denetçisinin her şeyden önce yangının davranışlarını ve tehlikelerini çok iyi bilmesi gerekir. Yangında asıl tehlike duman ve zehirli gazlardır. Yangınlarda ölümlerin büyük çoğunluğu bu duman ve zehirli gazlar sebebiyle oluşmaktadır. Ayrıca yangının büyüme hızı lineer değil üsteldir. Hatta yangının

hızı "patlamanın ağır çekimli hali" olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenlerle denetçinin önceliği; yangının gecikmeden fark edilebilmesi ve alarm verilebilmesi sistemleri ile korunmuş kaçış imkanlarını denetlemek olmalıdır. Bu nedenle kontrol listeleri (Check-Lists) en önemliden daha az önemliye doğru sıralanmalıdır. Aksi takdirde BYKHY'in tamamı kontrol listesi haline getirildiğinde 500 adetten fazla satır oluşmaktadır. Bu nedenlerle denetçilerin eğitimini verecek eğiticilerin ve kontrol listelerini hazırlayacak otoritenin ehemmi mühimme tercih edebilecek bilgi ve tecrübeye sahip olmaları gerekir.

7- SONUÇ

Ülkemiz yangın güvenliğinin iyileştirilmesi için yapılacak olan bu zorunlu periyodik denetimler son derece kıymetlidir. Başarı için; Yangın Güvenlik Önlemlerinin Periyodik Kontrolünü yapacak olan Yangın Güvenlik Denetçilerinin ehil olması, bunların eğitim müfredatının yeterli olması, kullanılacak kontrol listelerinin optimum nitelikte olması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik

[2] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Taslağı (11.07.2025)

[3] NFPA 1031 Standard for Professional Qualifications for Fire Inspector and Plan Examiner, 2014

[4] Fire Inspection and Code Enforcement, Fifth Edition, 1995

[5] Study Guide for IFSTA Fire Inspection and Code Enforcement, Fifth Edition, 1994

KISA ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahman İNCE

1962 yılında İstanbul'da doğdu. **Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği**'nden mezun, Okan Üniversitesinde **İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans**ını tamamladı. İstanbul Ticaret Üniversitesinde **İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora** tahsili yapmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesinde 30/03/1995 tarihinde çalışmaya başlamıştır. 8 yıl "**İBB İtfaiye Eğitim Merkezi (İBİTEM) Amir Yardımcılığı**" ve 9 yıl "**Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Amiri**" görevlerinden sonra, 02/12/2014 - 25/03/2016 tarihleri arası "**İBB İtfaiye Eğitim Merkezi (İBİTEM) Amiri**" olarak görev yapmıştır. 28/03/2016 - 01/08/2018 tarihleri arası İBB İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğünde A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak görev yaptı ve memuriyetten emekli oldu. 1997 yılı itibariyle "**NFPA 1033 Fire Investigator**" "Yangın Tahkikatçısı" sertifikasına sahip olup, "Yangın Çıkış Sebebinin Araştırılması" eğitimlerini vermektedir.
Ayrıca; Tehlikeli Maddeler, Patlamalar, Yangın Yerindeki Tehlikeler, Yangının Yapısı ve Gelişimi, Doğalgaz ve LPG Yangınları, İşyerlerinde Yangın Güvenliği, Acil Durum Organizasyonları, Köylerde Söndürme, Kurtarma ve İlkyardım İmkanları ve Gönüllü İtfaiyecilik, İtfaiyede İş Sağlığı ve Güvenliği, Acil Durum Enerji Sistemleri ve Acil Durum Bina Tahliyesi konularında çalışmaları vardır. **İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans programlarında öğretim görevlisi olarak ders vermektedir.** Evli ve iki çocuk babasıdır.

KONUT YAPILARINDA YANICI YÜK YÖNETİMİ VE YANGIN RİSKİNİN AZALTILMASI

Öğr. Gör. Aliye AYAN

ÖZET

Konut yapılarında yangın kaynaklı can ve mal kayıpları, kentleşme yoğunluğu, yapı stoku çeşitliliği ve kullanıcı davranışları nedeniyle önemli bir güvenlik problemidir. Bu çalışmada, konut ölçeğinde yanıcı yükün sistematik yönetimi ile yangın riskinin azaltılmasına yönelik bütüncül bir yaklaşım önerilmiştir. Yanıcı yük toplam ısıl potansiyel, yanıcı yük yoğunluğu ise bunun birim taban alanına oranı olarak tanımlanmış; taşınır eşya yoğunluğu, iç kaplama malzemeleri, elektrik tesisatı koşulları ve kaçış olanakları risk bileşenleri olarak ele alınmıştır. Literatür temelli değerlendirme, yarı-nicel risk puanlama ve örnek senaryo yaklaşımı birlikte kullanılmıştır. Önerilen model; (i) envanter tabanlı yanıcı yük yoğunluğu hesabı, (ii) risk bileşenlerinin puanlanması ve ağırlıklandırılması, (iii) müdahale önceliklendirmesi ve (iv) izleme-güncelleme döngüsünden oluşmaktadır. Değerlendirme, depolama düzensizliği, elektrik tesisatının durumu ve kaçış güzergâhlarındaki yanıcı birikimin birlikte ele alınmasını öne çıkarmaktadır. Senaryonun ham verileri ve hesap dökümü sunulmadığından sayısal sonuçlar doğrulama gerektirmektedir. Sonuç olarak, düşük maliyetli önlemlerle başlayan risk azaltma çalışmalarının periyodik denetim, kullanıcı eğitimi ve yerel yönetim politikalarıyla desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Konut yangınları, yanıcı yük, risk analizi, yangın güvenliği, afet risk azaltma

ABSTRACT

Fire-related life and property losses in residential buildings remain an important safety concern due to urban density, diverse building stock, and occupant behavior. This study proposes an integrated approach to reduce fire risk through systematic fire load management at the dwelling scale. Fire load is defined as the total thermal potential, and fire load density as its ratio to floor area. Movable fuel density, interior finishes, electrical installation condition, and egress provisions are considered as risk components. The methodology combines literature-based assessment, semi-quantitative scoring, and an example scenario. The proposed model comprises: (i) inventory-based fire load density calculation, (ii) scoring and weighting of risk components, (iii) intervention prioritization, and (iv) a monitoring and updating cycle. The assessment highlights the need to consider disorganized storage, electrical installation condition, and combustible accumulation along escape routes together. As raw data and calculation records for the scenario are not provided, its numerical results require verification. Risk reduction efforts beginning with low-cost measures should be supported by periodic inspection, occupant training, and local policies.

Keywords: Residential fires, fire load, risk analysis, fire safety, disaster risk reduction

1. GİRİŞ

Konut yapıları, günün büyük bölümünde insan bulunması ve farklı yaş gruplarını aynı anda barındırması nedeniyle yangın güvenliği açısından kritik kullanım sınıfıdır [3],[5]. Türkiye'de yüksek katlı konut üretiminin artması, eski yapı stokunun önemli bir bölümünün hizmette kalması ve iç mekânlarda sentetik içerikli malzeme kullanımının yaygınlaşması, yangın yükü ve duman toksisitesi kaynaklı tehlikeleri artırmaktadır

[3],[6]. Konut yangınlarında ölümcül sonuçların önemli bir kısmı doğrudan alev temasından ziyade erken evrede oluşan duman, sıcak gaz birikimi ve gecikmiş tahliye ile ilişkilidir [1],[5].

Literatürde konut yangın riskini etkileyen başlıca değişkenler; yanıcı yük yoğunluğu, tutuşturucu kaynakların varlığı, algılama-söndürme sistemlerinin etkinliği, kullanıcı farkındalığı ve müdahale süresi olarak rapor edilmektedir [1],[3],[5]. Ayrıca çok odalı daire planlarında koridorların, kapı ve bölmelendirme koşullarına bağlı olarak, dumanın kaçış yollarına yayılmasına olanak verebildiği; depo amaçlı kullanılan balkon, hol ve merdiven kovası gibi alanların tahliye performansını düşürdüğü vurgulanmaktadır [1],[3]. Son yıllarda risk yönetimi yaklaşımları yalnızca "yangın anı" değil, yangın öncesi hazırlık ve yangın sonrası iyileştirme döngüsü odaklıdır [5],[7].

Bu çalışmanın amacı, konut yapılarında yanıcı yük yönetimini risk azaltma merkezine yerleştirerek uygulanabilir bir değerlendirme ve önceliklendirme modeli önermektir. Bu kapsamda yanıcı yükün hesaplanması, risk skorunun türetilmesi, örnek bir uygulama senaryosunda müdahale seçeneklerinin karşılaştırılması ve politika önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. KONUT YAPILARINDA YANICI YÜK VE YANGIN RİSKİ

2.1. Yanıcı Yük Kavramı

Yanıcı yük, bir hacimde bulunan tüm yanıcı malzemelerin tam yanması durumunda açığa çıkarabileceği toplam ısı enerjisidir (MJ). Bu enerjinin ilgili taban alanına oranı yanıcı yük yoğunluğu olarak tanımlanır (MJ/m²) [1],[2]. Bu büyüklük, yangının gelişimi ve yapısal elemanların ısıl zorlanmasının değerlendirilmesinde; havalandırma, malzeme özellikleri ve mekân geometrisiyle birlikte kullanılır [1],[2]. Temel hesaplama yaklaşımı Eşitlik 1 ile verilmiştir [1]:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i H_i}{A} \quad (1)$$

Burada q_f yanıcı yük yoğunluğunu (MJ/m²), m_i i türündeki malzemenin kütlesini (kg), H_i malzemenin alt ısıl değerini (MJ/kg), n malzeme türü sayısını, A ise envanterin kapsadığı hacmin net taban alanını (m²) göstermektedir [1],[2].

2.2. Konutlarda Riski Belirleyen Etmenler

Konut yapılarında yangın riskinin yalnızca yanıcı yük miktarıyla açıklanması yeterli değildir [1],[3]. Aşağıdaki etmenler sistem davranışını birlikte belirler [3],[5],[6]:

- **Tutuşturucu kaynaklar:** Elektriksel arıza, aşırı yüklenme, kontrolsüz ısıtıcı kullanımı ve mutfak kaynaklı ihmal.
- **Malzeme davranışı:** Sentetik mobilya ve kaplama malzemelerinin yüksek ısı salımı ve duman toksisitesi.
- **Mekânsal yerleşim:** Kaçış rotalarında depolanan yanıcı eşyaların geçişi daraltması ve duman maruziyetini artırması.
- **Algılama ve müdahale:** Duman dedektörü yokluğu, taşınabilir söndürücüye erişim yetersizliği.
- İnsan faktörü: Risk algısı düşüklüğü, bakım eksikliği ve tahliye davranışındaki gecikme.

Şekil 1, konut yangın riskinin tehlike, kırılganlık ve maruz kalmanın birlikte değerlendirilmesiyle ele alınmasını göstermektedir [3],[7].

Tehlike (yanıcı yük ve tutuşturucu kaynaklar) + Kırılganlık (algılama, kaçış, kullanıcı özellikleri) + Maruz kalma (kişiler ve mal varlığı) → Olası can ve mal kaybı

Şekil 1: Konut yangın riskinin kavramsal bileşenleri

3. YANICI YÜK TABANLI RİSK ANALİZİ YAKLAŞIMI

3.1. Yöntem Çerçevesi

Önerilen yaklaşım dört aşamalıdır: envanterleme, puanlama ve sınıflandırma, müdahale planlama, izleme ve güncelleme. Daire, ortak kat holü ve depo gibi değerlendirme birimleri için yanıcı yük yoğunluğu, tutuşturucu kaynaklar ve tahliye koşulları birlikte ele alınır [1],[3],[6]. Ortak alanların envanteri daire hesabında mükerrer sayılmamalıdır.

Önerilen risk puanı, 0–1 aralığına normalleştirilen bileşenlerin ağırlıklı toplamı olarak Eşitlik 2 ile ifade edilmiştir. Puan, karşılaştırmalı önceliklendirme içindir; doğrudan yangın olasılığını veya beklenen kaybı göstermez:

$$R = w_1C + w_2I + w_3E + w_4V \qquad (2)$$

Burada C yanıcı yük yoğunluğu göstergesi, I tutuşturucu kaynak indeksi, E kaçış yetersizliği indeksi, V kullanıcı kırılganlığı indeksidir. w_1, w_2, w_3 ve w_4 negatif olmayan ağırlıklardır; $w_{toplam} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ koşulu sağlanır. Bileşenlerde yüksek değer daha olumsuz durumu gösterir. Algılama yetersizliğinin tahliyeye etkisi E içinde değerlendirilir; söndürme olanakları ayrıca kaydedilir.

3.2. Veri Türleri ve Değerlendirme Ölçeği

Modelde kullanılan veriler üç grupta toplanır:

- Fiziksel veriler: Daire alanı, malzeme türü, elektrik tesisatının yaşı ve durumu, kaçış mesafesi.
- Davranışsal veriler: Gece cihaz kullanım alışkanlığı, depo düzeni, periyodik bakım düzeyi.
- Operasyonel veriler: Algılama ekipmanı varlığı, söndürme ekipmanı erişimi, tahliye tatbikatı geçmişi ve yardıma ihtiyaç duyan kullanıcıların varlığı.

Tablo 1'deki risk sınıfları model için önerilen önceliklendirme aralıklarıdır; mevzuat sınırı veya kabul edilebilirlik ölçütü değildir. Sınıflandırma yuvarlanmamış puanla yapılmalıdır. Uygulamadan önce C, I, E ve V için ayrıntılı puanlama ve normalleştirme ölçütleri tanımlanmalıdır.

Tablo 1: Risk puanı sınıflandırması

Puan Aralığı	**Risk Düzeyi**	Önerilen Eylem
0,00 ≤ R ≤ 0,25	Düşük	Yıllık kontrol, kullanıcı bilgilendirmesi
0,25 < R ≤ 0,50	Orta	Altı aylık denetim, yerel iyileştirme planı
0,50 < R ≤ 0,75	Yüksek	Öncelikli teknik müdahale, malzeme azaltımı
0,75 < R ≤ 1,00	Çok Yüksek	Acil iyileştirme, yetkili değerlendirmesi ve sık denetim

4. UYGULAMA / MODEL ÖNERİSİ

4.1. Örnek Senaryo (Türkiye Bağlamı)

Uygulama senaryosu, orta yoğunluklu bir kent ilçesinde bulunan 8 bloklu bir konut yerleşimini temel almaktadır. Yapıların bir bölümünün 2000 yılı öncesinde inşa edildiği ve elektrik altyapısının kısmen yenilendiği belirtilmektedir. Senaryoda 96 dairenin oturma odası, mutfak, hol ve balkon alanlarında yanıcı yük envanteri çıkarıldığı bildirilmektedir. İnceleme tarihi ve envanter kayıtları sunulmadığından bu bilgiler doğrulama gerektirmektedir. Kısmi envanterde yalnızca incelenen alan kullanılmalı; daire geneli hesap için diğer odalar da kapsanmalıdır.

Senaryoda mutfak ve hol alanlarındaki yanıcı birikimin ve holün depolama amacıyla kullanılmasının kaçış performansını olumsuz etkilediği belirtilmektedir. Elektrik tesisatı yaşı 20 yılın üzerinde olan birimler de öncelikli inceleme konusu olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte yaş, tek başına risk eşiği değildir; tesisatın durumu, koruma düzenleri, yüklenmesi ve bakım kayıtlarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

4.2. Risk Analizi ve Önceliklendirme

Senaryoda ağırlık katsayıları w_1 = 0,35, w_2 = 0,25, w_3 = 0,25 ve w_4 = 0,15 olarak önerilmiştir; toplamları 1'dir. Bu seçim yanıcı yük yoğunluğuna en yüksek, tutuşturucu kaynaklara ve kaçış yetersizliğine eşit ağırlık vermektedir. Uzman paneli bilgileri sunulmadığından katsayıların belirlenme yöntemi belgelenmeli ve duyarlılık analizi yapılmalıdır.

İyileştirme önceliği için üç müdahale paketi tanımlanmıştır:

- Paket-A (Düşük maliyet): Kaçış rotası temizliği, priz-yük denetimi, kullanıcı eğitim modülü.
- Paket-B (Orta maliyet): Duman dedektörü standardizasyonu, yangın söndürücü erişimi, kablo yenileme.
- Paket-C (Yüksek maliyet): Elektrik altyapısının bütüncül rehabilitasyonu, yangına tepki performansı uygun kaplamalara geçiş.

4.3. Sistem Önerisi

Konut yönetimleri ve yerel idareler için çevrimsel bir yönetim sistemi önerilmektedir:

1. Başlangıç envanteri ve risk puanının hesaplanması,

2. Öncelikli birimlerde müdahale uygulaması,

3. Risk düzeyine göre izleme ve yeniden puanlama,

4. Sonuçların performans göstergelerine bağlanması ve envanterin güncellenmesi.

Bu sistem, saha verisinin sürekliliğini koruyarak statik denetim anlayışından dinamik risk yönetimine geçişi desteklemeyi amaçlar[6],[7].

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Uygulama senaryosunda birimlerin yaklaşık %31'inin "yüksek", %12'sinin "çok yüksek" risk sınıfında olduğu; Paket-A sonrasında ortalama risk puanında yaklaşık %14, Paket-B için %28 azalma bildirilmektedir. Ham veriler ve hesap dökümü sunulmadığından bu oranlar doğrulanmış müdahale etkisi olarak değerlendirilemez. Paket-B'nin bağımsız mı yoksa Paket-A'ya ek olarak mı uygulandığı da açıklanmalıdır. Paket-C için sayısal etki ve maliyet verisi bulunmadığından paketler arasında kesin bir etkinlik veya maliyet-etkinlik sıralaması yapılamaz.

Değerlendirme üç temel noktaya işaret etmektedir. Birincisi, düşük maliyetli davranışsal ve düzenleyici müdahaleler kısa vadede uygulanabilecek önlemlerdir; risk azaltımının büyüklüğü ölçümle doğrulanmalıdır. İkincisi, elektrik tesisatındaki bozulma tutuşturucu kaynak riskini artırabileceğinden yalnızca malzeme azaltımına odaklanmak yetersizdir [1],[2],[5]. Ağırlıklı toplam modeli bileşenler arasındaki etkileşimi ayrıca hesaplamaz. Üçüncüsü, kaçış güzergâhının kullanılabilirliği aynı yanıcı yük yoğunluğuna sahip iki konutun risk puanını farklılaştırabilir [1],[3],[5].

Tablo 2, paketlerin hedeflenen etki alanlarını ve öngörülen maliyet düzeylerini karşılaştırmaktadır; doğrulanmış etki büyüklükleri sunmamaktadır.

Tablo 2: Müdahale paketlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi

Paket	Hedeflenen Etki	Maliyet Düzeyi	Uygulama Notu
Paket-A	Kaçış ve kullanım düzeni	Düşük	Hızlı uygulanır, eğitim sürekliliği gerekir
Paket-B	Algılama ve teknik bakım	Orta	Teknik bakım ve takip gerektirir
Paket-C	Altyapı ve kaplama iyileştirmesi	Yüksek	Seçici ve aşamalı planlama önerilir

6. TARTIŞMA VE UYGULAMA YOL HARİTASI

Çalışmada, konut yangınlarına yönelik tekil önlemlerin birbiriyle ilişkili müdahale paketleri içinde ele alınması önerilmektedir. Bununla birlikte, her yerleşimde aynı teknik çözüm setinin uygulanması beklenmemelidir [6],[7]. Yapı yaşı, kullanıcı profili, bakım bütçesi ve yerel itfaiye erişim süresi gibi değişkenler müdahale tasarımını etkiler [3],[6]. Karar vericilerin risk puanının yanı sıra uygulama kapasitesini de dikkate alan aşamalı bir strateji izlemesi önerilir [6],[7].

Uygulama yol haritası üç evreli olarak önerilebilir. İlk 0–6 ayda kaçış koridorlarının temizlenmesi, pano etiketleme, aşırı yük kontrolü ve kullanıcı eğitimleri planlanabilir. 6–18 ayda dedektör standardizasyonu, kritik devrelerin yenilenmesi, söndürücü yerleşimi ve tahliye tatbikatları ele alınabilir. 18 ay ve sonrasında uygulama yaygınlaştırılarak performans doğrulaması sürdürülür. İzleme ilk evreden itibaren başlar ve risk düzeyine göre tekrarlanır. Bu süreler zorunlu bekleme süreleri değildir; acil tehlikeler gecikmeden giderilmelidir.

Modelin sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Yarı-nicel puanlama öznel değerlendirmeler içerebilir; hane içi davranışlar da zamanla değişebilir. Ayrıca ayrıntılı puanlama cetveli, normalleştirme eşikleri, uzman paneli kayıtları ve senaryo hesapları belgede sunulmamıştır. Bu eksikler giderilmeden sayısal sonuçlar tekrarlanabilir ve genellenebilir değildir. Dijital denetim formları, periyodik doğrulama ziyaretleri ve anonimleştirilmiş olay kayıtlarıyla modelin kalibrasyonu ve belirsizlik analizi desteklenmelidir.

Son olarak, konut yangın güvenliği yalnızca teknik bir tasarım problemi değil, aynı zamanda yönetişim problemidir [6],[7]. Yerel yönetimler, bina yönetimleri ve kullanıcılar arasında görev-sorumluluk matrisinin açık tanımlanması; denetim sonuçlarının ölçülebilir göstergelere bağlanması; kırılgan gruplar için özel destek mekanizmalarının kurulması, risk azaltımının kalıcılığı açısından belirleyicidir [6],[7]. Bu yönüyle yanıcı yük yönetimi, afetlere dirençli yerleşim politikasının ayrılmaz bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir [3],[7].

7. SONUÇ

Bu çalışma, konut yapılarında yangın riskinin azaltılmasında yanıcı yük yönetimini merkeze alan bir değerlendirme modeli önermektedir [1],[3],[5]. Saha verileriyle doğrulama gerekliliği göz önünde bulundurularak aşağıdaki uygulama ve araştırma önerileri sunulmuştur:

- Konut yangın riskinin değerlendirilmesinde yalnızca yapı elemanları değil, taşınır yanıcı envanter ve kullanıcı davranışı birlikte ele alınmalıdır [3],[5],[7].
- Yanıcı yük yoğunluğu hesaplaması, teknik önceliklendirme için ölçülebilir ve karşılaştırılabilir bir temel sağlar [1],[2].
- Kaçış güzergâhlarında depolama alışkanlığının sınırlandırılması, düşük maliyetle uygulanabilecek öncelikli bir önlemdir [3],[6].
- Elektrik tesisatı yaşı ve bakım düzeyi, tutuşturucu kaynak indeksi (I) kapsamında birlikte değerlendirilmelidir [4],[6].
- Yerel idareler, apartman/site yönetimleri için periyodik denetim ve kullanıcı eğitimi içeren performans odaklı bir izleme modeli geliştirmelidir [6],[7].
- Gelecek çalışmalarda gerçek olay verisiyle model kalibrasyonu yapılarak belirsizlik analizi güçlendirilmelidir [3],[7].

KAYNAKLAR

[1] CIBSE, “Guide E: Fire Safety Engineering”, 4. baskı, Chartered Institution of Building Services Engineers, 2019.

[2] BUCHANAN, A. H. ve ABU, A. K., “Structural Design for Fire Safety”, 2. baskı, Wiley, 2017.

[3] KARSLI, N., “Konut Yapılarında Yangın Güvenliği ve Risk Değerlendirmesi”, Yapı Teknolojileri Dergisi, 2021.

[4] YILDIRIM, M., “Elektrik Tesisatı Kaynaklı Konut Yangınları Üzerine Bir İnceleme”, Yangın ve Güvenlik Araştırmaları, 2020.

[5] NFPA, “Fire Protection Handbook”, 21. baskı, National Fire Protection Association, 2023.

[6] TSE, “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Açıklamaları”, Türk Standardları Enstitüsü Yayınları, 2018.

[7] KILIÇ, E., “Afet Risk Azaltmada Toplum Temelli Yaklaşımlar”, Afet Yönetimi Dergisi, 2023.

KISA ÖZGEÇMİŞ

AYAN, A. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları yangın güvenliği, acil durum yönetimi, risk analizi ve itfaiye operasyon planlamasıdır. Afetler, kriz yönetimi ve iletişimi, performans temelli yangın güvenliği tasarımı ve müdahale süreçlerinin iyileştirilmesine odaklanmaktadır.

YUSUFELİ (ARTVİN) KIRSAL YERLEŞİMLERİNDE MEYDANA GELEN KÖY YANGINLARI: 2020-2025 DÖNEMİNİN İTFAİYE RAPORLARI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

İlknur BEKEM KARA
Cuma KARA

ÖZET

Bu çalışmada, Artvin ili Yusufeli ilçesinde 2020-2025 yılları arasında meydana gelen yangınlar, yerel itfaiye raporları temel alınarak incelenmektedir. Kırsal yerleşimlerde yaşanan bu yangınlar; çıkış nedenleri, yangınların zamansal dağılımı, yapı özellikleri, yerleşim dokusu ve müdahale süreçleri açısından değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında, söz konusu dönemde meydana gelen tüm yangın olayları genel olarak ele alınmakta; ayrıca 2020 yılında Dokumacılar Köyü'nde ve 2021 yılında Yüncüler ve Dereiçi Köylerinde meydana gelen yangınlar, etkileri ve sonuçları bakımından daha ayrıntılı olarak incelenmektedir.

İtfaiye raporlarının analizi sonucunda, yangınların ortaya çıkışında çoğunlukla insan kaynaklı etkenlerin öne çıktığı; kırsal yerleşimlerdeki yapıların yanıcı malzeme ağırlıklı olması, yapıların birbirine yakın ve düzensiz biçimde konumlanması ile erken müdahale olanaklarının sınırlı kalmasının yangınların büyümesinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle Dokumacılar, Yüncüler ve Dereiçi köylerinde meydana gelen yangınlar, kırsal yerleşimlerde yangın güvenliği önlemlerinin yetersizliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu durum, yangın önleme çalışmalarının güçlendirilmesi, yerel müdahale kapasitesinin artırılması ve kırsal nüfusun bilinçlendirilmesine yönelik eğitim faaliyetlerinin yaygınlaştırılması gerekliliğini göstermektedir. Bu bildiri kapsamında, Yusufeli örneği üzerinden kırsal yerleşim yangınlarına ilişkin mevcut durum analiz edilmekte; yerel yönetimler, itfaiye teşkilatları ve kırsal yerleşimlerde yaşayanlar için uygulanabilir yangın güvenliği önerileri sunulmaktadır. Çalışmanın, kırsal alanlarda yangın güvenliği politikalarının geliştirilmesine katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Kırsal yerleşim yangınları, köy yangınları, itfaiye raporları, Yusufeli

VILLAGE FIRES IN RURAL SETTLEMENTS OF YUSUFELİ (ARTVİN): AN EVALUATION BASED ON FIRE DEPARTMENT REPORTS FOR THE 2020–2025 PERIOD

ABSTRACT

This study examines fires that occurred in Yusufeli District of Artvin Province between 2020 and 2025, based on local fire department reports. These fires in rural settlements are evaluated in terms of their causes, temporal distribution, building characteristics, settlement patterns, and response processes. Within the scope of the study, all fire incidents that occurred during the specified period are assessed in general, while the fires that took place in Dokumacılar Village in 2020 and in Yüncüler and Dereiçi villages in 2021 are examined in greater detail with regard to their impacts and consequences.

The analysis of the fire department reports revealed that human-related factors were generally prominent in the outbreak of fires. It was also determined that the predominance of combustible construction materials in rural buildings, the close and irregular positioning of structures, and limited opportunities for early intervention contributed to the spread and growth of the fires.

In particular, the fires in Dokumacılar, Yüncüler, and Dereiçi villages clearly demonstrate the inadequacy of fire safety measures in rural settlements. This situation highlights the need to strengthen fire prevention efforts, improve local emergency response capacity, and expand educational activities aimed at raising fire safety awareness among the rural population. Using Yusufeli as a case study, this paper analyses the current situation regarding fires in rural settlements and presents practical fire safety recommendations for local authorities, fire departments, and rural residents. The study aims to contribute to the development of fire safety policies in rural areas.

Key words: Rural settlement fires, village fires, fire department reports, Yusufeli.

1. GİRİŞ

Yangın istatistikleri, belirli bir zaman diliminde meydana gelen yangın olaylarının sayısal, mekânsal ve nedensel verilerinin sistematik olarak toplanması, sınıflandırılması ve analiz edilmesi sürecidir. Bu veriler genellikle şu bilgileri içerir [1-3]:

- Yangın sayısı, çıkış zamanı ve yeri,
- Yangın türü (konut, endüstriyel, orman vb.),
- Neden (elektrik arızası, ihmal, kundaklama, vb.),
- Can kaybı, yaralanma ve maddi zarar miktarları,
- Yangına müdahale süresi, kullanılan ekipman ve başarı oranıdır.

Yangın olaylarının nedenleri, sıklığı, mekânsal dağılımı, meydana geldiği yapı türleri ve ortaya çıkardığı can ve mal kayıpları bakımından istatistiksel olarak incelenmesi, yangın güvenliği alanında bilimsel temelli değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu tür analizler, yalnızca mevcut durumun ortaya konulması açısından değil, aynı zamanda riskli alanların belirlenmesi, yangına neden olan temel faktörlerin anlaşılması ve yerel ölçekte etkili önleme stratejilerinin geliştirilmesi bakımından da önem taşımaktadır [4].

Bu çerçevede yangın istatistiklerinin yerleşmelerin coğrafi, yapısal ve sosyoekonomik özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi, özellikle geleneksel kırsal meskenlerin yangın riskini artıran veya azaltan özelliklerinin ortaya konulması bakımından önem taşımaktadır.

Geleneksel kırsal meskenler, içinde bulunduğu coğrafi çevrenin jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri, iklim şartları, bitki örtüsü ve toprak özellikleri gibi doğal çevre faktörlerini büyük oranda yansıtır. Nitekim kullanılan yapı malzemesinden yapım tekniklerine, plan özelliklerinden eklentilerine kadar birçok özelliğin coğrafi faktörlerin etkisi altında oluştuğu söylenebilir [5]. Meskenlerin dağılışı üzerine doğal çevre faktörlerinden topoğrafya ve iklim koşullarının yanında, sosyal ve ekonomik faktörler büyük ölçüde etkili olur. Yusufeli ilçesinde Toplu dokulu köylerin genelde dağlık kesimde yer almış oldukları dikkati çekmektedir [6]. Gerek arazi yapısının eğimli, parçalı, dar yüzölçümlü olması gerekse bahçe ve tarlalara yakın olma isteği nedeniyle ev ve eklentileri (ahır, ambar, merek) meskenin tamamlayıcıları olarak kurulmuştur. Ev eklentileri ekonomik uğraşların gerektirdiği ihtiyaçlar sonucunda oluşmuştur. Evlerin ve ekonomik yapının tamamlayıcı unsurları olmuşlardır. Hayvancılıkla ve bitkisel üretim ağırlıklı ekonomilerde geçim tipinde ev ve eklentileri farklı fonksiyon ve görünüme kazanmaktadır (Şekil 1) [7].



Şekil 1. Yusufeli köy evlerinden görüntüler [8, 9]

Merek: Hâkim ekonomik faaliyet alanlarına göre şekillenen geleneksel köy konutlarının en önemli ev eklentilerinden biri mereklerdir. Hayvanların ot ve saman, çala, neker gibi kışlık yemlerinin depolandığı tamamen ahşap malzemeden yapılmış bir ev eklentisi olarak kullanılır. Yörede her aile kendi otlak (mera) alanının başına bir ya da birkaç merek yapmıştır. Üst üste yerleştirilen tomruklar arasında kalan boşluklar hayvan gübresi veya toprakla sıvanarak soğuk havanın içeri girmesi önlenmeye çalışılmıştır [7].

Yöredeki meskenlerin bir bölümünde ahşap başlı başına yapım malzemesini oluşturuyor iken, bir bölümünde de diğer yapı malzemeleriyle (özellikle taş ile) bir arada kullanılmıştır. Alt katın bütünüyle taştan inşa edilmesi veya yörede yaygın olarak rastlanılan hayvan barınağı olarak kullanılması da yaşama alanının toprağın neminden uzaklaştırmaya yönelik çabalar olarak görülebilir. Alt katın hayvan barınağına tahsis edilmesinde yörenin engebeli arazi yapısının ve dolayısıyla araziden daha verimli bir şekilde yararlanma isteğinin de rol oynadığı söylenebilir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı: Yusufeli/ARTVİN

Yusufeli, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Artvin'in ilçelerinden biri olup, Artvin il merkezinin güneybatısında yer alır (Şekil 2). Artvin il merkezine olan uzaklığı yaklaşık 76 km, Erzurum'a ise 139 km mesafededir. Ulaşım Erzurum-Artvin karayolu ile sağlanır. İlçe merkezi Çoruh Nehri ile Barhal Çayı'nın birleştiği bir vadide kurulmuştur. Doğusunda Erzurum'un Olur ve Oltu ilçeleri, güneyinde Erzurum'un Tortum, Uzundere ve İspir ilçeleri, batısında Rize'nin Çamlıhemşin ve Ardeşen ilçeleri, kuzeyinde ise Artvin merkez ve Murgul ilçeleri yer alır. Yusufeli ilçe merkezinin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 601 metredir. İlçenin yüzölçümü 2.261 km²dir [10]. İlçenin yüzey şekillerini genellikle doğu–batı doğrultusunda uzanan dağlarla bu

dağları birbirinden ayıran vadiler meydana getirir. Yusufeli, coğrafi konum itibarı ile çok engebeli, dağlık bir alana sahiptir. TÜİK verilerine göre [11] Yusufeli ilçesinin nüfusu 2020 yılında 19.832 iken, 2025 yılı itibarıyla 17.564'e düşmüştür. İlçenin nüfusu son beş yıllık dönemde azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 2. Artvin ve ilçeleri [12]

2.2. Araştırma Verileri

Araştırmanın temel veri kaynağını, Yusufeli Belediyesi İtfaiye biriminden temin edilen ve 2020-2025 döneminde ilçe sınırları içerisinde meydana gelen yangın olaylarını kapsayan resmî itfaiye kayıtları oluşturmaktadır. Genel yangın kayıtlarının yanı sıra kırsal yerleşimlerde geniş çaplı hasara neden olan Dereiçi Köyü, Dokumacılar Köyü Sahlep Mahallesi ve Yüncüler Köyü Dapgit Mahallesi yangınlarına ait ayrıntılı olay tutanaklarından yararlanılmıştır.

Araştırmada kişilerin adları, telefon numaraları ve T.C. kimlik numaraları gibi kişisel veriler değerlendirme dışında bırakılmış; veriler yalnızca bilimsel amaçla, anonimleştirilerek ve toplulaştırılmış biçimde kullanılmıştır.

2.3. Verilerin Sınıflandırılması ve Analizi

Bu araştırma, iki aşamalı bir inceleme yaklaşımına göre yürütülmüştür. Birinci aşamada, Yusufeli ilçesinde 2020–2025 yılları arasında meydana gelen toplam 229 yangın olayına ait itfaiye kayıtları betimsel istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Yangınlar; meydana geldikleri yıl ve yangın türü değişkenlerine göre sınıflandırılmış, elde edilen veriler frekans ve yüzde dağılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. Böylece Yusufeli ilçesindeki yangınların yıllara ve türlere göre genel görünümünün ortaya konulması amaçlanmıştır.

İkinci aşamada ise geniş çaplı yapı ve geçim kaynağı kayıplarına neden olan Dokumacılar Köyü Sahlep Mahallesi, Dereiçi Köyü ve Yüncüler Köyü Dapgit Mahallesi yangınları çoklu vaka incelemesi kapsamında ele alınmıştır. Bu olaylara ilişkin yangın tutanakları; ihbar ve olay yerine ulaşma süreleri, yangının muhtemel çıkış nedenleri, yangının yayılmasıyla ilgili yapı ve çevre özellikleri, müdahaleye katılan kurumlar, söndürme ve soğutma çalışmaları, zarar gören yapı ve eklentiler ile canlı ve ekonomik varlık kayıpları bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu iki aşamalı yaklaşım sayesinde, bir taraftan Yusufeli ilçesindeki yangınların 2020–2025 dönemine ait genel dağılımı belirlenmiş, diğer taraftan üç büyük köy yangınının çıkış, yayılma ve müdahale süreçleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir.

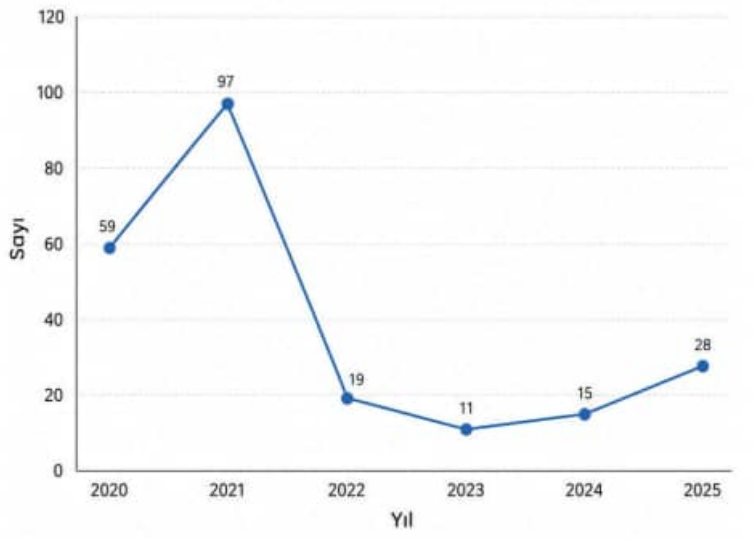
2.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırma, Yusufeli Belediyesi itfaiye biriminden temin edilen resmî yangın kayıtları ve olay tutanaklarında yer alan bilgilerle sınırlıdır. Bu nedenle değerlendirmeler, söz konusu belgelerin kapsamı, ayrıntı düzeyi ve kayıt biçimi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Yusufeli İlçesinde Yangınların Yıllara ve Türlere Göre Dağılımı (2020–2025)

Yusufeli ilçesinde 2020–2025 yılları arasında meydana gelen yangın sayılarının [13] yıllara göre değişimi Şekil 3'te görülmektedir. Buna göre 2020 yılında 59 olarak kaydedilen yangın sayısı, 2021 yılında 97'ye yükselerek incelenen dönem içerisindeki en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ancak 2022 yılında yangın sayısı belirgin bir düşüş göstererek 19'a gerilemiş, 2023 yılında ise 11'e düşerek dönem içerisindeki en düşük değere ulaşmıştır. Bu azalmanın ardından 2024 yılında yangın sayısı 15'e yükselmiş, 2025 yılında ise artış eğilimi devam ederek 28'e çıkmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Yusufeli ilçesinde yangın sayılarının yıllar itibarıyla dalgalı bir seyir izlediği; özellikle 2021 yılında dikkat çekici bir zirve yaşandığı, 2022 ve 2023 yıllarında ise belirgin bir azalma meydana geldiği görülmektedir. 2024 yılından itibaren yangın sayılarında yeniden artış eğilimi gözlenmiş olsa da bu değerler 2021 yılındaki yüksek seviyenin oldukça altında kalmıştır. İncelenen 2020–2025 dönemi boyunca Yusufeli ilçesinde meydana gelen toplam yangın sayısı 229 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3. Yusufeli'nde 2020-2025 aralığında meydana gelen yangın sayılarının yıllara göre değişimi [13]

Yıllık istatistik cetvellerine (Şekil 4) ulaşılamaması nedeniyle 2020–2025 dönemine ait arşiv kayıtlarından yangın raporları (Şekil 5) tek tek incelenmiş ve yangın olayları sekiz başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu başlıklar, önceki çalışmalarda da kullanılan (Kaynak), AFAD tarafından yıllık olarak belediyelerden talep edilen formdan örnek olarak alınmıştır.

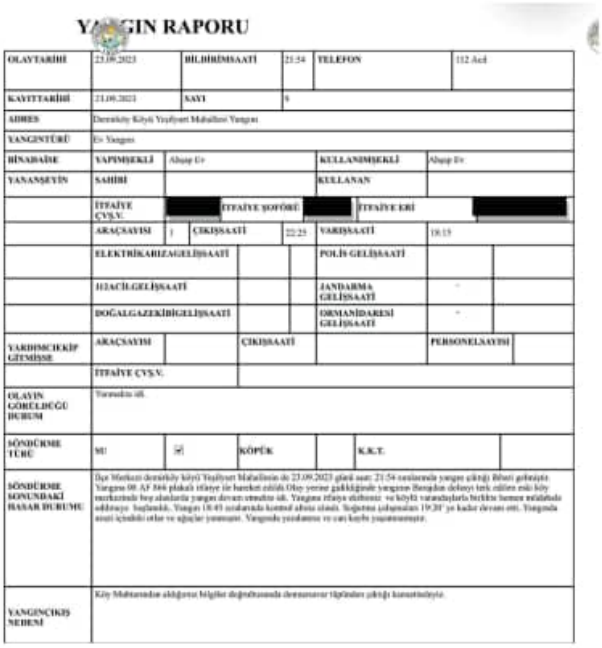
KISMAN VEYA TAMAMEN YANAN YAPILAR İLE DİĞER YANGINLARA AİT İSTATİSTİK CETVELİ

(1) YANGIN TÜRÜ		(2)YANAN YERİN İNŞA MALZEMESİNE GÖRE CİNSİ					(3) TOPLAM	(4) YANMA DERECESİ				(6) YANGIN KAYBI					(7)YANGIN NEDENİ											
		AHŞAP	KARKAS	BETONARME	ÇELİK	DİĞER		BAŞLANGIÇTA SÖNDÜRÜLEN	KISMEN YANARAK KURTARILAN	TAMAMEN YANAN	(5) TOPLAM	İNSAN		HAYVAN		MADDİ ZARAR	ELEKTRİK KONTAĞI	LPG,DOĞAL GAZ vb.	OCAK,SOBA,KALORİFER KAZANI	BACA TUTUŞMASI	SİGARA	SİGARA VE KİBRİT	AKARYAKIT	PATLAYICI MADDE	YILDIRIM DÜŞMESİ	SABOTAJ	DİĞER
												HALK	GÖREVLİ	BÜYÜKBAŞ	KÜÇÜKBAŞ	KESİN VEYA TAHMİNİ (TL)											
BİNA YANGINLARI	KAMU																										
	ÖZEL			4			4		3		2					1.51 000,00TL			1	1							2
ATÖLYE-İMALATHANE-FABRİKA VB YANGINLAR																											
MOTORLU ARAÇ YANGINLARI				1			1			1	1					7.34 190,00TL											1
ODUN-KÖMÜR DEPOSU VB YANGINLAR		2					2		1	2	3					6.000,00TL			1								1
ORMANLIK-FİDANLIK YANGINLARI																											
OT-SAMAN-ÇÖP-EKİN VB YANGINLAR																											
DİĞER YANGINLAR				2			2		2		2					1,000,000,00TL	1										1
GENEL TOPLAM		2		6	1		9		6	3	8						1		2	1							5

ÖRNEKTİR

Şekil 4. Örnek istatistik cetveli [14]

3194 sayılı imar kanununa [15] göre “Bina; kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü ve insanların içine girebilecekleri ve insanların oturma, çalışma, eğlenme veya dinlenmelerine veya ibadet etmelerine yarıyan, hayvanların ve eşyaların korunmasına yarayan yapılardır” şeklinde tanımlanmaktadır. Bu nedenle mesken ve eklentilerine ait yangınlar bina yangınları başlığı altına alınmıştır.



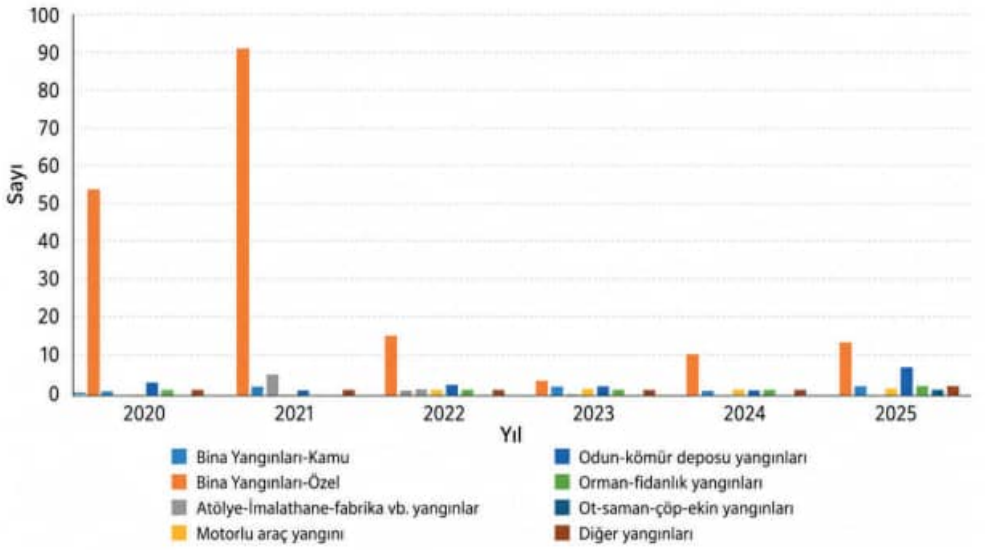
YANGIN RAPORU

OLAY TARİHİ	23.09.2023	BİLDİRİM SAATİ	21:54	TELEFON	112 Acil
KAYIT TARİHİ	23.09.2023	SAYI	9		
ADRES	Demirköy Köyü Yeşilyurt Mahallesi Yangını				
YANGIN TÜRÜ	Ev Yangını				
BİNADAİRE	YAPIM ŞEKLİ	Ahşap Ev	KULLANIM ŞEKLİ	Ahşap Ev	
YANAN ŞEYİN	SAHİBİ		KULLANAN		
	İTFAİYE CYS.V.	[redacted] İTFAİYE ŞOFÖRÜ	[redacted] İTFAİYE ERİ	[redacted]	
	ARAÇ SAYISI	1 ÇIKIŞ SAATİ	22:25 VARIŞ SAATİ	18:15	
	ELEKTRİK ARIZA GELİŞ SAATİ		POLİS GELİŞ SAATİ		
	112 ACİL GELİŞ SAATİ		JANDARMA GELİŞ SAATİ	-	
	DOĞALGAZ EKİBİ GELİŞ SAATİ		ORMAN İDARESİ GELİŞ SAATİ	-	
YARDIMCI KİŞİP GİTMİŞSE	ARAÇ SAYISI		ÇIKIŞ SAATİ	PERSONEL SAYISI	
	İTFAİYE CYS.V.				
OLAYIN GÖRÜLDÜĞÜ DURUM	Tarımsalda idi.				
SÖNDÜRME TÜRÜ	SU	☑	KÖPÜK	K.K.T.	
SÖNDÜRME SONUNDAKİ HASAR DURUMU	İlçe Merkezi demirköy köyü Yeşilyurt Mahallesinde de 23.09.2023 günü saat: 21:54 sıralarında yangın çıktığı ihbarı gelmiştir. Yangına 98 AF 866 plakalı itfaiye ile hareket edildi. Olay yerine gidildiğinde yangının Bozağan dolayı tarla edilen eski köy merkezinde boş alanlarda yangın devam etmekte idi. Yangına itfaiye ekibimiz ve köylü vatandaşlarla birlikte hemen müdahale edilmeye başlandı. Yangın 18:45 saatlerinde kontrol altına alındı. Soğutma çalışmaları 19.30' ye kadar devam etti. Yangında zarar içindeki ekler ve ağaçlar yanmıştır. Yangında yaralanma ve can kaybı yaşanmamıştır.				
YANGINÇIKIŞ NEDENİ	Köy Muhtarından alınan bilgiler doğrultusunda ihmalsizlik tespit edildi.				

Şekil 5. Yusufeli İtfaiyesinden alınan yangın raporlarına ilişkin bir örnek dosya [13]

229 yangın olayının türlerine göre yıl bazında dağılımı Şekil 6’da görülmektedir. Yusufeli ilçesinde 2020–2025 yılları arasında meydana gelen yangınların türlerine göre dağılımı incelendiğinde, özel bina yangınla-

rının tüm dönem boyunca en baskın yangın türü olduğu görülmektedir. Özel bina yangınları 2020 yılında 54 olay ile yüksek bir seviyede gerçekleşmiş, 2021 yılında ise 91 olaya çıkarak incelenen dönem içerisindeki en yüksek değere ulaşmıştır. Ancak 2022 yılında bu sayı belirgin biçimde azalarak 15'e gerilemiş, 2023 yılında 5 ile en düşük seviyelerden birine inmiştir. 2024 yılında özel bina yangınları yeniden artarak 10'a, 2025 yılında ise 13'e yükselmiştir. Kamu bina yangınları dönem boyunca oldukça sınırlı düzeyde görülmüş; yalnızca bazı yıllarda düşük sayılarla kayıtlara yansımıştır. Atölye–imalathane–fabrika vb. yangınlar ise özellikle 2021 yılında 5 olay ile dikkat çekmiş, diğer yıllarda ise düşük düzeyde kalmıştır. Motorlu araç yangınlarının genel olarak sınırlı sayıda gerçekleştiği, yalnızca 2024 ve 2025 yıllarında düşük düzeyli vakalar şeklinde görüldüğü anlaşılmaktadır. Odun–kömür deposu yangınları ise özellikle 2025 yılında 7 olay ile belirginleşmiş ve bu yıldaki toplam yangın sayısına önemli katkı sağlamıştır. Orman–fidanlık yangınları ile diğer yangın türleri dönem boyunca düşük seviyelerde kalırken, ot–saman–çöp–ekin yangınlarının bazı yıllarda ortaya çıktığı ve özellikle 2025 yılında artış gösterdiği görülmektedir. Yusufeli ilçesinde meydana gelen yangın olaylarının ağırlıklı olarak özel bina yangınlarından oluştuğu görülmektedir. 2021 yılında özel bina yangınlarındaki yüksek artışın toplam yangın sayısını belirgin biçimde yükselttiği, 2022 ve 2023 yıllarında ise genel bir azalma yaşandığı söylenebilir. 2025 yılında özel bina yangınlarının yanı sıra odun–kömür deposu ve ot–saman–çöp–ekin yangınlarındaki artış, yangın türleri bakımından daha çeşitlenmiş bir dağılıma işaret etmektedir.



Şekil 6.Yusufeli'nde Yangın Türlerinin Yıllara Göre Dağılımı (2020–2025)

2020 ve 2021 yıllarında oldukça yüksek seyreden bina yangınlarının detayı incelendiğinde, istatistiklerde görülen artışın Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler köylerinde meydana gelen yangın olaylarının sonucu olduğu belirlenmiştir.

3.2. Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler Köylerinde Meydana Gelen Yangınların İncelenmesi

Yusufeli ilçesinde bir ilçe merkezi ve 62 köy yerleşmesi bulunmaktadır. İlçe merkezine en yakın köy Irmakyanı, en uzak köy ise Sütlüce'dir. Köylerin ilçe merkezine uzaklıklarının yanı sıra, engebeli arazi yapısı ve ulaşım koşulları da yangınlara müdahale sürelerini etkileyebilmektedir. Bu çalışma kapsamında ayrıntılı yangın tutanakları incelenen Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler köylerinin konumları Şekil 7'de gösterilmiştir [16].



Şekil 7. Çalışma alanı [16]

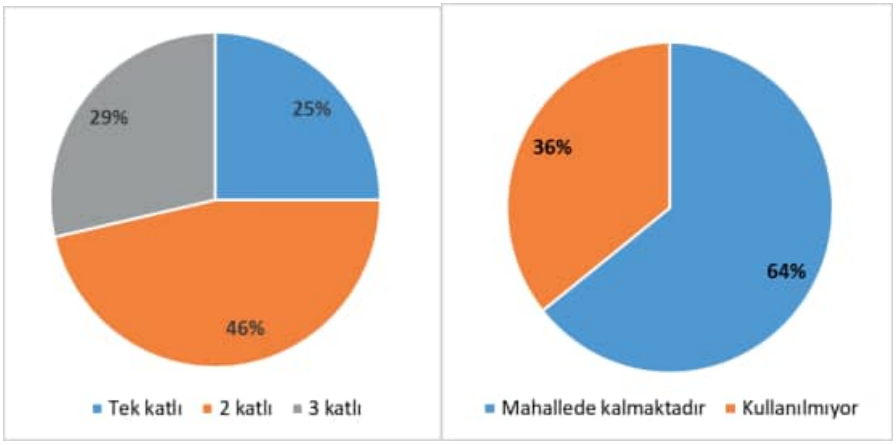
3.2.1. Dokumacılar Köyü Yangını

7 Temmuz 2020 tarihinde saat 11.21'de, Yusufeli ilçesine bağlı Dokumacılar Köyü Sahlep Mahallesi'nde yangın çıktığına ilişkin telefon ihbarının alınmasının ardından Yusufeli Belediyesi itfaiye ekibi olay yerine hareket etmiştir. Eş zamanlı olarak Orman İşletme Müdürlüğü, İlçe Jandarma Komutanlığı, 112 Acil Çağrı Merkezi ve Artvin Belediyesi itfaiyesine bilgi verilerek destek talep edilmiştir. İtfaiye ekibi saat 13.15'te mahalleye ulaştığında, cami dışındaki yapıların büyük bölümünün yanmakta olduğu görülmüştür. Yangına belediye ve orman işletme ekiplerinin yanı sıra gönüllü itfaiyeciler ve köy sakinleri tarafından müdahale edilmiş; daha sonra Artvin Belediyesine ait bir itfaiye aracı ile özel kuruluşlara ait üç tanker de söndürme ve soğutma çalışmalarına katılmıştır [13]. Yangın sonucunda mahalledeki çok sayıda konut ve eklenti yanarak kullanılamaz hâle gelmiştir (Şekil 8).

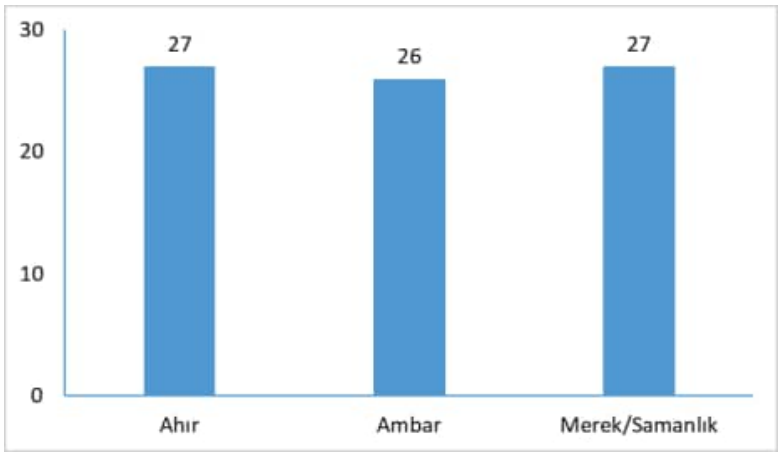


Şekil 8. Dokumacılar köyü yangınına ait görüntüler [17-20]

Yangın tutanağına göre olayda 28 mesken yanarak kullanılamaz hâle gelmiştir. Bu meskenlerin %25'i tek katlı, %46'sı iki katlı ve %29'u üç katlıdır (Şekil 9a). Meskenlerin 18'inin (%64) yangın öncesinde aktif olarak kullanıldığı, 10'unun (%36) ise kullanılmadığı belirlenmiştir (Şekil 9b). Tutanaklarda "eklenti" olarak ifade edilen yapılar; ahır, ambar ve merek/samanlıklardan oluşmaktadır. Yangın sonucunda 27 ahır, 26 ambar ve 27 merek/samanlık kullanılamaz hâle gelmiştir (Şekil 10). Bir meskene birden fazla eklenti bağlı olabildiğinden, eklenti sayıları yanan mesken sayısından bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Dokumacılar Köyü'nde meskenlerin ve bunlara bağlı eklentilerin bitişik düzende veya birbirine oldukça yakın biçimde inşa edilmiş olması, yangının yapılar arasında yayılmasını kolaylaştırmıştır.



Şekil 9. a) Yapıların kat sayısına göre dağılımı, b) Yapı sahiplerinin ikamet durumu



Şekil 10. Yanan eklenti sayıları

3.2.2. Dereiçi Köyü Yangını

17 Mart 2021 tarihinde saat 13.40'ta, telefon ihbarının alınmasının ardından Yusufeli Belediyesi itfaiye ekipleri olay yerine hareket etmiştir. Eş zamanlı olarak Orman İşletme Müdürlüğü, İlçe Jandarma Komutanlığı, 112 Acil Çağrı Merkezi, Artvin Belediyesi itfaiyesi ile çevre il ve ilçelerin itfaiye birimlerinden destek talep edilmiştir. Ayrıca gönüllü itfaiyeciler de olay yerine yönlendirilmiştir. Yangına, Yusufeli Belediyesine ait üç itfaiye aracı, itfaiye personeli, gönüllü itfaiyeciler ve köy sakinleri tarafından müdahale edilmiş; daha sonra bölgeye ulaşan destek ekiplerinin katılımıyla söndürme ve soğutma çalışmalarına devam edilmiştir [13] (Şekil 11).

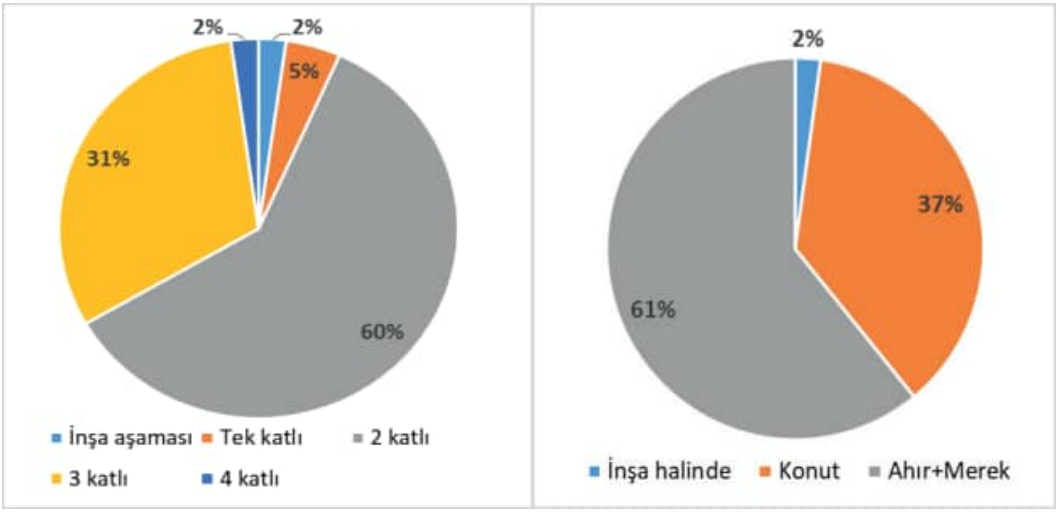


Şekil 11. Dereiçi köyünde meydana gelen yangına ait görüntüler [21]

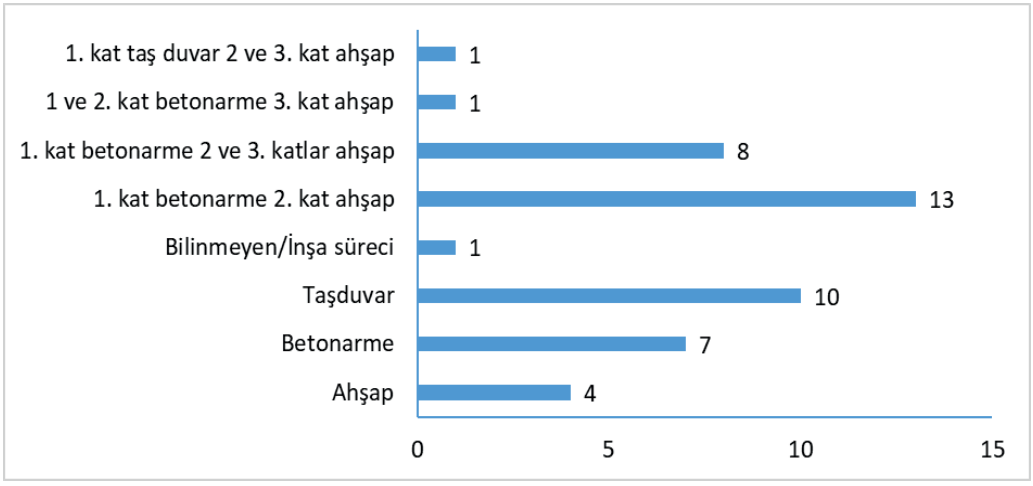
Yangın tutanağına göre olayda toplam 45 mesken ve eklenti yanarak kullanılamaz hâle gelmiştir. Bu yapıların %60'ı iki katlı, %31'i üç katlı, %5'i tek katlı ve %2'si dört katlı olup %2'si ise inşa aşamasındadır (Şekil 12a). Kullanım durumuna göre yapıların %37'sini meskenler, %61'ini ahır ve merekler, %2'sini ise inşa

hâlindeki yapılar oluşturmaktadır (Şekil 12b). Yangından etkilenen yapıların 23'ünün betonarme veya taş alt katlar ile ahşap üst katlardan oluşan karma yapı sistemine sahip olduğu; 10'unun taş duvar, 7'sinin betonarme ve 4'ünün tamamen ahşap olduğu belirlenmiştir. Bir yapının yapı malzemesine ilişkin bilgiye ise ulaşılamamıştır (Şekil 13).

Yangın tutanağında yer alan tanık beyanlarına göre yangın ilk olarak bir meskenin çatı bölümünde görülmüş ve rüzgârın etkisiyle kısa sürede mahallenin büyük bölümüne yayılmıştır. Yangının muhtemel çıkış nedeninin soba bacası veya elektrik tesisatındaki bir arıza olabileceği değerlendirilmiştir



Şekil 12. a) Yapıların kat sayısına göre dağılımı, b) Yapı türüne göre dağılım



Şekil 13. Yapı malzemesine göre yapı sayıları

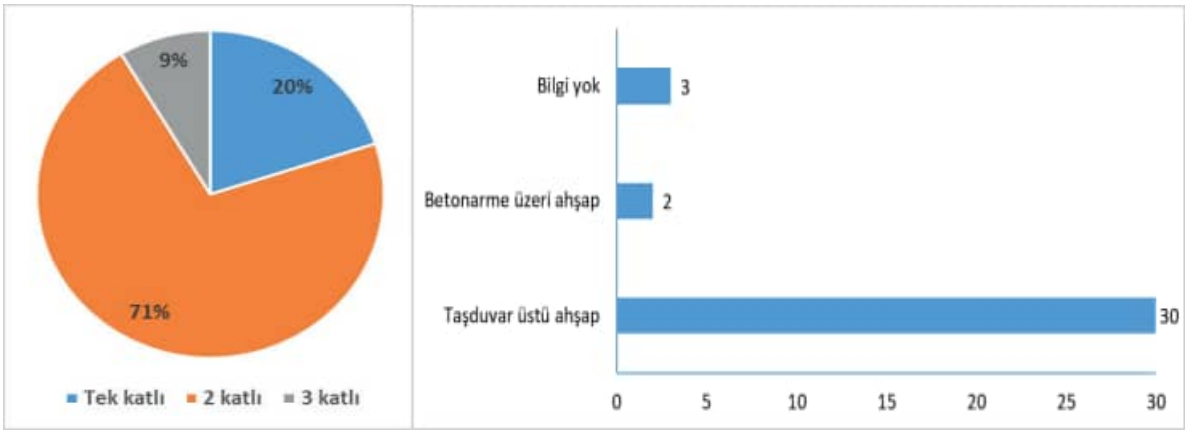
3.2.3. Yüncüler Köyü Yangını

3 Ağustos 2021 tarihinde saat 12.23'te, Yusufeli ilçesine bağlı Yüncüler Köyü Dapgit Mahallesi'nde yangın çıktığına ilişkin ihbarın 112 Acil Çağrı Merkezi üzerinden alınmasının ardından Yusufeli Belediyesi itfaiye ekibi olay yerine hareket etmiştir. Gönüllü itfaiyecilerin katılımıyla oluşturulan destek ekibi de ayrıca mahalleye yönlendirilmiştir. Müdahale sürecinde Artvin Belediyesi İtfaiyesi ve Erzurum Büyükşehir Belediyesi İtfaiyesinden takviye talep edilmiştir. Ekipler mahalleye ulaştığında, 4–5 mesken dışındaki yapıların büyük bölümünün yanmakta olduğu görülmüştür (Şekil 14). Yangına belediye itfaiye personeli, gönüllü itfaiyeciler ve köy sakinleri tarafından müdahale edilmiş; daha sonra İspir ve Borçka'dan gelen itfaiye araçları ile tankerlerin katılımıyla söndürme ve soğutma çalışmalarına devam edilmiştir [13].

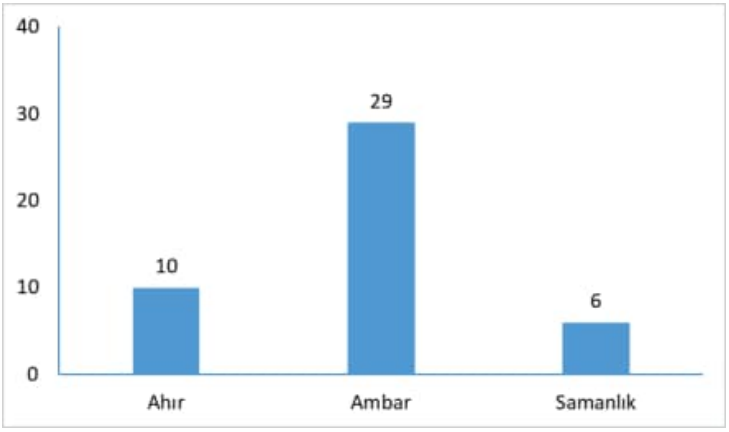


Şekil 14. Yüncüler köyündeki yangına ait görüntüler [22-24]

Yangın tutanağına göre [13], olayda 35 mesken ile bunlara bağlı eklentiler yanarak kullanılamaz hâle gelmiştir. Meskenlerin %20'si tek katlı, %71'i iki katlı ve %9'u üç katlıdır (Şekil 15a). Yapı malzemelerine göre meskenlerin 30'unun taş duvar üzeri ahşap, 2'sinin betonarme üzeri ahşap sistemle inşa edildiği, 3 meskenin yapı malzemesine ilişkin bilgiye ise ulaşılamadığı belirlenmiştir (Şekil 15b). Yangın sonucunda ayrıca 10 ahır, 29 ambar ve 6 samanlık kullanılamaz hâle gelmiştir (Şekil 16). Bir meskene birden fazla eklenti bağlı olabildiğinden, eklenti sayıları yanan mesken sayısından bağımsız olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 15. a) Yapıların kat sayısına göre dağılımı, b) Yapı malzemesine göre yapı sayıları



Şekil 16. Yapı türüne göre dağılım

3.3. Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler Köylerindeki Yangın Olaylarının Karşılaştırılması

Üç köy yangınına ait ihbar–varış süreleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu sürelerin doğrudan itfaiye performansının bir göstergesi olarak değerlendirilmesi uygun değildir. Köylerin Yusufeli ilçe merkezine uzaklıkları, yol ve arazi koşulları farklıdır. Dokumacılar ve Yüncüler köylerinin ilçe merkezine 36 km uzaklıkta olması nedeniyle ihbar–varış süreleri sırasıyla 114 ve 102 dakika olarak gerçekleşmiştir. Dereiçi Köyü'nde ise bu süre 25 dakika olmasına rağmen rüzgârın etkisi ve yapı özellikleri nedeniyle yangın geniş bir alana sirayet etmiştir [13]. Yangınlar ile mücadelede de itfaiye ulaşım süresinin fazla olmasının yangınlara müdahaleyi olumsuz yönde etkilediği literatürden bilinmektedir [25].

İncelenen tutanaklarda [13], taş duvar, kâgir veya betonarme alt katların üzerinde ahşap katların bulunduğu; meskenlerle ahır, merek, samanlık ve depoların aynı yapı içerisinde veya birbirine yakın biçimde konumlandığı görülmektedir. Bu yapı düzeni, yangının çatılar ve komşu yapılar arasında yayılmasını kolaylaştırmış; saman, kuru ot, yem ve kereste gibi yanıcı malzemeler yangın yükünün artmasına ve söndürme sonrasında yeniden tutuşma olasılığının yükselmesine neden olmuştur.

Yangınların etkileri yalnızca kullanılamaz hâle gelen mesken ve eklenti sayıları üzerinden değerlendirilmemelidir. Olaylar aynı zamanda barınma kaybına, tarımsal üretim araçlarının zarar görmesine, hayvan kayıplarına, yem ve kışlık ot stoklarının yok olmasına ve hanelerin geçim kaynaklarının kesintiye uğramasına yol açmıştır. Ortak veya miraslı mülkiyet yapısı da yangın sonrasında hak sahipliğine ilişkin sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Meskenlerin yanı sıra ahır, merek, samanlık, tarım makineleri, yem stokları ve hayvanların zarar görmesi, söz konusu yangınların yalnızca fiziksel yapı hasarı oluşturmadığını, kırsal geçim kaynakları üzerinde de ağır kayıplar meydana getirdiğini göstermektedir. İncelenen olaylarda insan kaybı yaşanmamış olmakla birlikte, DereiçiKöyü'nde büyükbaş hayvanların ve kümes hayvanlarının telef olduğu kaydedilmiştir.

Üç yangın birlikte değerlendirildiğinde, meydana gelen hasarın yalnızca yangının muhtemel çıkış nedenine bağlı olmadığı görülmektedir. Yapı malzemeleri, yerleşim dokusu, yanıcı maddelerin depolanma biçimi, meteorolojik koşullar ve müdahale kaynaklarına erişim süresi yangının büyümesinde birlikte etkili olmuştur. Elektrik tesisatı ve baca sistemleri yangının başlangıcında öne çıkarken; ahşap üst katlar, bitişik veya yakın yapı düzeni ile ahır ve mereklerde depolanan kuru ot, saman ve yemler yangının yayılmasını hızlandırmıştır.

Tablo 1. İtfai olay bilgileri [13]

Yerleşim yeri	Yusufeli merkeze olan uzaklık, km	Tarih	İhbar saati	Varış saati	İhbar-varış süresi	Değerlendirme
Dokumacılar köyü	36 km	07.07.2020	11.21	13.15	114 dakika	Müdahale ekibi ulaştığında yangının mahalle ölçeğinde yayılmış olduğu görülmektedir.
Dereiçi köyü	9 km	17.03.2021	13.40	14.05	25 dakika	Rüzgâr ve yapı özellikleri nedeniyle yangın geniş alana yayılmıştır.
Yüncüler köyü	36 km	03.08.2021	12.23	14.05	102 dakika	Ekipler ulaştığında birkaç yapı dışındaki mahalle yapılarının önemli bölümü yanmaktadır.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yusufeli ilçesinde 2020–2025 yılları arasında meydana gelen 229 yangın olayı ile Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler köylerinde geniş çaplı hasara neden olan üç yangına ait resmî itfaiye kayıtları incelenmiştir. Genel yangın kayıtları, olay sayılarının yıllara göre dalgalı bir seyir izlediğini ve en yüksek değere 97 olayla 2021 yılında ulaşıldığını göstermiştir. Yangın türleri bakımından ise özel bina yangınlarının incelenen dönem boyunca belirgin biçimde öne çıktığı belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmanın devamında yangın sayılarının yükselmesine sebep olan Dokumacılar, Dereiçi ve Yüncüler köyü yangınları irdelenmiştir.

Üç köy yangını birlikte değerlendirildiğinde, meydana gelen hasarın yalnızca yangının muhtemel çıkış nedenine bağlı olmadığı anlaşılmıştır. Elektrik tesisatı, sokak aydınlatma hatları ve baca sistemleri yangınların başlangıcında öne çıkarken; ahşap veya ahşap ağırlıklı karma yapı sistemleri, meskenlerin ve eklentilerin birbirine yakın konumlanması ile kuru ot, saman, yem ve kereste gibi yanıcı malzemelerin yapı çevresinde depolanması yangının yayılmasını kolaylaştırmıştır. Ayrıca engebeli arazi yapısı, ulaşım koşulları ve müdahale kaynaklarına erişim süresi de olayların büyümesinde etkili olmuştur. Dereiçi Köyü'nde müdahale süresi daha kısa olmasına rağmen rüzgâr ve yapı özellikleri nedeniyle yangının geniş bir alana yayılması, erişim süresinin tek başına belirleyici olmadığını göstermektedir.

İncelenen olaylarda insan kaybı yaşanmamış olmakla birlikte, çok sayıda mesken, ahır, ambar, merek/samanlık kullanılamaz hâle gelmiştir. Hayvanların, yem stoklarının, tarımsal araçların ve diğer üretim varlıklarının zarar görmesi, köy yangınlarının yalnızca fiziksel yapı hasarına değil, kırsal hanelerin geçim kaynaklarında da uzun süreli kayıplara neden olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle kırsal yerleşimlerde yangın güvenliğinin yalnızca söndürme kapasitesinin artırılmasıyla sınırlı tutulmaması; yangın öncesi hazırlık, yapısal önlemler, yerel müdahale kapasitesi ve geçim kaynaklarının korunmasıyla birlikte ele alınması gerekmektedir.

Bu kapsamda köylerde elektrik tesisatları, sokak aydınlatma hatları ve soba bacaları düzenli olarak kontrol edilmeli; ahşap çatıların yangına karşı dayanımının artırılması desteklenmelidir. Meskenlerle ahır, merek/samanlıklar arasında uygun güvenlik mesafeleri oluşturulmalı; köylerde yangın hidrantı, su deposu veya acil kullanım havuzu gibi su kaynakları sağlanmalıdır. Köy yolları itfaiye araçlarının erişimine uygun hâle getirilmeli, gönüllü yangın ekipleri oluşturularak temel eğitim ve ekipman desteği verilmelidir. Bunun yanında hayvan tahliye planları hazırlanmalı, acil toplanma alanları belirlenmeli ve yangın tutanakları olayların karşılaştırılmasına imkân verecek standart bir kayıt sistemiyle düzenlenmelidir. Resmî yangın tutanaklarının yalnızca hasarın belgelenmesinde değil, kırsal yangınların nedenlerinin ve sonuçlarının anlaşılmasında da önemli bir veri kaynağı olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 2025.F94.02.02 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, AÇÜ BAP Koordinatörlüğü'ne ve veri temini için Yusufeli Belediye'sine

teşekkürlerini sunar.

5. KAYNAKLAR

[1] 1995 CTIF, World Fire Statistics Report No. 29 with a Comprehensive Analysis of Fire Statistics for 2022, International Association of Fire and Rescue Services, 17 June 2024.
[2] BEKEM KARA, İ., Giresun İli Yangın İstatistiklerinin İncelenmesi (2011–2016), Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 7, 2, 96–105, 2017. https://doi.org/10.31466/kfbd.312280
[3] BEKEM KARA, İ., 2013–2017 Yılları Arasında Artvin İl Merkezinde Meydana Gelen Bina Yangınlarının İncelenmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4, 2, 105–114, 2018. https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/284748/SFPE, "Handbook of Fire Protection Engineering", Society of Fire Protection Engineers, 1995
[4] MANES, M., SAUCA, A., EL HOUSSAMI, M., ANDERSSON, P., MCINTYRE, C., CAMPBELL, R., RUSH, D., HOFMANN, A., WAGNER, P., SOKOLOV, S., LEENE, M., KOBES, M., OBERHAGEMANN, D., RUPP, N., JOMAAS, G., GRONE, F. ve GUILLAUME, E., Closing Data Gaps and Paving the Way for Pan-European Fire Safety Efforts: Part II—Terminology of Fire Statistical Variables, Fire Technology, 59, 1969–2000, 2023. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01408-5
[5] ORHAN, F., Geleneksel Artvin Mesken Mimarisinin Oluşmasında Etkili Olan Coğrafi Faktörler, Uluslararası Artvin Sempozyumu, Artvin, 18–20 Ekim 2018, 1403–1415, 2018.
[6] TIRAŞ, M., Yusufeli İlçesinde Köy Yerleşmeleri, Türk Coğrafya Dergisi, 38, 133–147, 2002. https://doi.org/10.17211/tcd.76129
[7] DOĞU KARADENİZ PROJESİ BÖLGE KALKINMA İDARESİ BAŞKANLIĞI (DOKAP), Mimari Tercihler: Artvin Halk Kültürü, Doğu Karadeniz Kültür Envanteri Projesi, t.y. https://karadeniz.gov.tr/mimari-tercihler-2/ (Erişim Tarihi: 28.07.2026).
[8] GÜZEL, R., Kişisel Fotoğraf Arşivi, yayımlanmamış fotoğraf koleksiyonu, 2026.
[9] GÜLYAPRAK, H. Y., Kişisel Fotoğraf Arşivi, yayımlanmamış fotoğraf koleksiyonu, 2026.
[10] Yusufeli Kaymakamlığı, https://www.yusufeli.gov.tr/doka (Erişim tarihi:02.01.2026).
[11] "Coğrafi İstatistik Portalı". Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). https://cip.tuik.gov.tr/ (Erişim tarihi:02.01.2026).
[12] ORHAN, F., ZAMAN, S. ve ÇAVUŞ, A., Artvin İlindeki Geleneksel Kırsal Mesken Mimarisine Bir Örnek: Ahşap Yığma Evler, 1. İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 420–430, 2019. https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.042
[13] YUSUFELİ BELEDİYESİ, Yangın Raporları, Yusufeli Belediyesi Arşivi, yayımlanmamış kurumsal arşiv belgeleri, Yusufeli, 2026.
[14] ARHAVİ BELEDİYESİ, Yıllık Yangın İstatistik Cetveli, yayımlanmamış kurumsal istatistik belgesi, Arhavi, 2026.
[15] T.C. RESMÎ GAZETE, 3194 Sayılı İmar Kanunu, Kanun No: 3194, Kabul Tarihi: 03.05.1985, Resmî Gazete, Sayı: 18749, 09.05.1985.
[16] KODAY, Z. ve ERHAN, K., Yusufeli İlçesinin İdari Coğrafya Analizi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14, 2, 231–241, 2010. https://dergipark.org.tr/en/pub/ataunisosbil/article/38219
[17] T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI ARTVİN İL AFET VE ACİL DURUM MÜDÜRLÜĞÜ, Artvin Yusufeli İlçesi Dokumacılar Köyünde Yangın [Fotoğraf], 8 Temmuz 2020. https://artvin.afad.gov.tr/artvin-yusufeli-ilcesi-dokumacilar-koyunde-yangin (Erişim Tarihi: 28.07.2026).
[18] SABAH, Dokumacılar Köyünde Çıkan Yangının Ardından Yaralar Sarılmaya Çalışılıyor [Fotoğraf], 8 Temmuz 2020. https://www.sabah.com.tr/artvin/2020/07/08/dokumacilar-koyunde-cikan-yanginin-ardindan-yaralar-sarilmaya-calisiliyor (Erişim Tarihi: 28.07.2026).
[19] ARHAVİZYON, Yusufeli Dokumacılar Köyünde Korkutan Yangın [Fotoğraf], 8 Temmuz 2020. https://arhavizyon.com/wp-content/uploads/2020/07/dokumac%C4%B1laryang%C4%B1n11.jpg (Erişim Ta-

rihi: 28.07.2026).

[20] OĞUZ, S., Artvin Yusufeli İlçemizin Dokumacılar Köyü'nde Çıkan Yangın [Fotoğraflı X paylaşımı], 7 Temmuz 2020. https://x.com/serhatoguz06/status/1280505032828432389 (Erişim Tarihi: 28.07.2026).

[21] NTV, Yangın Artvin'deki Dereiçi Köyünün Kaderi: 24 Yılda 3 Büyük Yangın Acısı Yaşadı [Fotoğraf galerisi], 18 Mart 2021. https://www.ntv.com.tr/turkiye/galeri-yangin-artvindeki-dereici-koyunun-kaderi24-yilda-3-buyuk-yangin-acisi-yasadi,J31BTUL4j0abUR5mPeyAog/1 (Erişim Tarihi: 28.07.2026).

[22] GÜNDEME BAKIŞ, Artvin Yusufeli'nde Yangın! 10 Ahşap Ev Kül Oldu [Fotoğraf], 3 Ağustos 2021. https://www.gundemebakis.com/artvin-yusufelinde-yangin-10-ahsap-ev-kul-oldu (Erişim Tarihi: 28.07.2026).

[23] HABER7, Artvin'de Büyük Yangın! 33 Ev Küle Döndü [Fotoğraf galerisi], 4 Ağustos 2021. https://www.haber7.com/foto-galeri/69854-artvinde-buyuk-yangin-33-ev-kule-dondu (Erişim Tarihi: 28.07.2026).

[24] SABAH, Yusufeli'ndeki Yangın Kontrol Altına Alındı [Fotoğraf], 4 Ağustos 2021. https://www.sabah.com.tr/gundem/2021/08/04/yusufelindeki-yangin-kontrol-altina-alindi?page=3 (Erişim Tarihi: 28.07.2026).

[25] YILMAZ, G., USTA, G. ve TORPUŞ, K., Artvin İtfaiye Müdürlüğü'nün 2008–2017 Yılları Arasında Müdahale Ettiği Köy Yangınları Üzerine Bir İnceleme, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12, 62, 1904–1910, 2019. https://doi.org/10.17719/jisr.2019.3198

6. KISA ÖZGEÇMİŞ

İlknur BEKEM KARA
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği'nde lisans eğitimini tamamlamış, 2014 yılında Gazi Üniversitesi'nden Doktor, 2022 yılında ÜAK'tan Doçent ünvanı almıştır. 2007-2015 yılları arasında Ahi Evran Üniversitesi'nde görev yapan İlknur BEKEM KARA, 2015 yılından bu yana Artvin Çoruh Üniversitesi'nde görev yapmaktadır. Yapı malzemelerinin yüksek sıcaklık altındaki dayanım ve durabilite özelliklerinin yanı sıra, binalarda yangın istatistiklerine ilişkin çalışmaları bulunmaktadır.

Cuma KARA
Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü tamamlamış, 2012 yılında ise Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'ndan "yüksek mühendis" ünvanını alarak mezun olmuştur. 2015 yılından bu yana Artvin Çoruh Üniversitesi'nde "Öğretim Görevlisi" olarak görev yapan Cuma KARA doktora eğitimine devam etmektedir.

SONRADAN EKİLECEK YAPISAL FİLİZLERİN YANGIN DURUMUNDA TASARIMI

İsmail ALTINDAĞ[1]
[1] HILTI Türkiye – ismail.altindag@hilti.com

ÖZET

Filiz ekimi uygulamaları, mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesi, yeni eleman ilavesi ve yapısal birleşim detaylarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak bu bağlantıların yangın etkisi altındaki davranışı, taşıma kapasitesinin korunması ve yapı güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek sıcaklık altında beton, donatı çeliği ve kimyasal ankraj malzemelerinde meydana gelen mekanik özellik kayıpları, filiz ekimi bağlantılarının performansını doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada, filiz ekimi uygulamalarının yangın durumunda tasarım esasları, TR069 teknik değerlendirme dokümanı ile EN 1992-1-1 standardı çerçevesinde incelenmiştir. Öncelikle filiz ekiminde aderans, kenar mesafesi, ankraj boyu ve yük aktarım mekanizmaları açıklanmış; ardından yangın sırasında sıcaklık dağılımı, aderans kaybı ve rijitlik azalmasının bağlantı kapasitesine etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca yangın dayanım süresine bağlı olarak tasarım yüklerinin yeniden belirlenmesi ve azaltılmış malzeme dayanımlarıyla hesap yapılması gerekliliği ele alınmıştır.

Çalışma sonucunda, filiz ekimi tasarımında yalnızca normal sıcaklık koşullarındaki taşıma kapasitesinin yeterli olmadığı, yangın senaryoları için ilave güvenlik kontrollerinin zorunlu olduğu ortaya konmuştur. Özellikle kimyasal ankrajlı filiz ekimlerinde reçine esaslı malzemelerin sıcaklığa duyarlılığı nedeniyle yangın performansının dikkatle değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. TR069 ve EN 1992-1-1 hükümlerinin birlikte kullanılmasıyla, yangın etkisi altındaki filiz ekimi bağlantıları için daha güvenli ve performans esaslı tasarım yaklaşımı geliştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Filiz ekimi, yangın tasarımı, TR069, EN 1992-1-1, ankraj, betonarme yapılar

STRUCTURAL POST INSTALLED REBAR DESIGN UNDER FIRE ACTION

ABSTRACT

Post-installed rebar applications are widely used in structural strengthening, extension of reinforced concrete members, and development of structural connections in existing buildings. However, the behaviour of these connections under fire exposure is critical in terms of load-bearing capacity and structural safety. Elevated temperatures significantly reduce the mechanical properties of concrete, reinforcement steel, and chemical anchorage materials, thereby affecting the performance of post-installed reinforcement systems.

This study investigates the fire design principles of post-installed rebar applications within the framework of TR069 technical assessment guidelines and EN 1992-1-1. The load transfer mechanisms, bond behaviour, embedment length, and edge distance requirements are first discussed. Subsequently, the effects

of elevated temperatures on bond strength degradation, stiffness reduction, and thermal gradients are evaluated in relation to connection capacity. The necessity of modified material properties and reduced design strengths for fire scenarios is also addressed.

The study concludes that design based solely on ambient temperature conditions is insufficient for post-installed rebar systems. Additional checks for fire exposure conditions are required, particularly for chemical anchors due to the temperature sensitivity of resin-based materials. A combined use of TR069 and EN 1992-1-1 provides a more reliable and performance-based approach for ensuring the fire safety of post-installed reinforcement connections

Keywords: Post-installed rebar, fire design, TR069, EN 1992-1-1, anchorage, reinforced concrete.

1. GİRİŞ

Mevcut betonarme elemanlara yeni beton elemanların yapısal olarak bağlanması, güçlendirme, kat ilavesi, konsol/döşeme uzatmaları ve deprem sonrası onarım uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan bir gereksinimdir. Bu bağlantı, geleneksel olarak yeni dökülecek elemanın donatısının mevcut elemana kadar uzatılıp döküm öncesi yerleştirilmesiyle (cast-in) sağlanabildiği gibi, mevcut sertleşmiş betona açılan deliklere kimyasal harç (epoksi, akrilik/vinilester veya inorganik-çimento esaslı) enjekte edilerek donatı çubuğunun sonradan yerleştirilmesiyle de (post-installed rebar, PIR – ülkemizde yaygın kullanımıyla “filiz ekimi”) sağlanabilmektedir. Kimyasal ankrajlı yöntemin; kalıp gerektirmemesi, mevcut yapıyı bozmaması ve inşaat süresini kısaltması gibi üstünlükleri, bu tekniğin yaygınlaşmasının temel nedenleridir [1], [2].

Yapısal güvenlik, Avrupa Birliği yangın güvenliği rehberinde tanımlanan yedi temel unsurdan biridir: önleme, tespit, erken müdahale, tahliye, bölme, yapısal güvenlik ve itfaiye söndürme. Bu unsurlardan yapısal güvenlik, bir yangın esnasında taşıyıcı sistemin belirli bir süre boyunca (genellikle 30 ile 240 dakika arasında) yeterli taşıma kapasitesini koruyabilmesini ifade eder ve doğrudan can güvenliği ile tahliye süresiyle ilişkilidir. Betonarme elemanlarda kullanılan cast-in donatı için bu davranış, EN 1992-1-2 (CEN, 2004b) kapsamında iyi tanımlanmış olup, çelik için 500 °C’lik bir “kritik sıcaklık” esas alınarak beton örtüsü (paspayı) belirlenir [3]. Ne var ki bu yaklaşım, filiz ekiminde kullanılan kimyasal harçlara doğrudan uygulanamaz; zira özellikle organik esaslı (epoksi, vinilester) harçlar, çelik ve betona kıyasla çok daha düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 80–200 °C mertebesinde camsı geçiş sıcaklığı civarında) önemli oranda bağ dayanımı kaybına uğramaktadır [4,5].Bu nedenle filiz ekimi bağlantılarının yangın durumu için tasarımı, uzmanlık gerektiren, ürüne özgü ve halen aktif olarak geliştirilmekte olan bir mühendislik problemidir.

Bu çalışmanın amacı, (i) filiz ekimi uygulamalarının yangın açısından sınıflandırılmasını, (ii) kimyasal harçların yüksek sıcaklık altındaki davranışına ilişkin literatür bulgularını, (iii) Avrupa Teknik Değerlendirme Kuruluşu (EOTA) tarafından yayımlanan TR069 Teknik Raporu’nun sıcaklık tabanlı tasarım metodolojisini ve (iv) bu yöntemin 2026 yılı itibarıyla moment etkili uç ankrajlarına genişletilmesiyle elde edilen sahadan örnekleri, akademik literatürle ilişkilendirerek sunmaktır.

2. FİLİZ EKİMİ UYGULAMALARININ SINIFLANDIRILMASI

Yangın tasarımı açısından filiz ekimi uygulamaları, gömü boyunca gelişen sıcaklık dağılımının niteliğine göre iki ana kategoriye ayrılabilir:

Bindirmeli bağlantılar (lap splice / uzatma bağlantıları): Mevcut bir elemanın betonu içerisine, yeni dökülecek beton elemanın donatısıyla bindirilecek şekilde derin gömü boyunda donatı ekilmesidir (tipik çap aralığı Ø12–Ø32 mm). Donatı, açık yüzeye paralel konumlandığından, gömü boyunun tamamı yangın esnasında benzer bir sıcaklığa maruz kalır; dolayısıyla bağ dayanımı kaybı donatı boyunca yaklaşık düzgün

(uniform) biçimde gerçekleşir. Bağ dayanımının etkisi ancak yüksek dayanımlı beton sınıflarında ve yüksek sıcaklıklarda belirleyici hâle gelir.

Yapısal ekler / uç ankrajları (end anchorage / structural joints): Mevcut elemanda genellikle bindirilecek bir donatı bulunmadığı durumlarda, orta ile derin gömü boyu aralığında uygulanan ve doğrudan bağ dayanımına bağımlı olan bağlantı tipidir (tipik çap aralığı Ø12–Ø40 mm). Donatı açık yüzeye açılı konumlandığından (örneğin bir köşe/konsol bağlantısında), gömü derinliği boyunca sıcaklık düzgün dağılmaz; yüzeye yakın bölgelerde sıcaklık hızla düşer. Bu düzensiz (non-uniform) sıcaklık dağılımı, bağ dayanımı kaybının donatı boyunca homojen olmamasına yol açar ve hesap yönteminin bu değişkenliği dikkate alması gerektirir.

Bu iki uygulama tipi arasındaki ayrım, izleyen bölümde ele alınan hesap yönteminin (Bağ Direnci Entegrasyon Yöntemi) temelini oluşturur; zira yöntem, sıcaklık profilinin gömü boyunca sabit ya da değişken olmasına göre farklılık gösteren bir entegrasyon işlemine dayanmaktadır [6,7].

3. KİMYASAL HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA DAVRANIŞI

EN 1992-1-2 (CEN, 2004b), basit mesnetli kirişler ve döşemeler için gerekli eksen mesafesini belirlerken çeliğin "kritik sıcaklığı"nı yaklaşık 500 °C olarak kabul eder; bu değer, standart yükleme koşulları altında çeliğin dayanımının yeterli bir güvenlik payıyla korunduğu sıcaklık eşiğini temsil eder [3]. Ne var ki bu kabul, kimyasal harç–beton ara yüzeyindeki bağ davranışı için geçerli değildir. Pinoteau vd. epoksi esaslı polimer harçların camsı geçiş sıcaklığının (Tg) genellikle 80–130 °C aralığında olduğunu ve bu sıcaklığın üzerinde çekme dayanımının hızla 2,5 MPa'nın altına düştüğünü deneysel olarak göstermiştir [4]. Benzer şekilde Al-Mansouri vd. ve Lahouar vd., organik esaslı harçların bağ dayanımının 100–300 °C aralığında önemli ölçüde azaldığını, buna karşın beton ve çeliğin dayanım kaybının çok daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiğini teyit etmiştir [5,8]. Bu durum, cast-in donatı için türetilmiş 500 °C'lik kritik sıcaklık kabulünün doğrudan uygulanması hâlinde, gerekli beton örtüsünün ciddi biçimde eksik hesaplanacağı ve bağlantının yangın güvenliğinin sağlanamayacağı anlamına gelmektedir.

İnorganik (çimento esaslı) harçlar ise farklı bir sıcaklık-dayanım ilişkisi sergiler. Bu tür harçlar, esasen "enjekte edilebilir beton" olarak nitelendirilebilir; ortam sıcaklığındaki bağ dayanımları organik harçlara kıyasla daha düşük olsa da, sıcaklıkla birlikte dayanım kaybı çok daha yavaş gerçekleşir. Nitekim üretici test verilerine göre (C30/37 beton sınıfı, Ø12 mm donatı için), hızlı ve yavaş priz alan organik harçlar 20 °C'de daha yüksek bağ dayanımı sergilerken, sıcaklık artışıyla birlikte inorganik harcın bağ dayanımı eğrisi organik harçların eğrisini yaklaşık 48 °C ve 83 °C civarında keserek üstüne çıkmaktadır. Bu "performans kesişim noktası" (tipping point), yangın koşulları altında harç seçiminin ortam sıcaklığındaki bağ dayanımı yerine, sıcaklık-bağ dayanımı azalma eğrisinin tamamı esas alınarak yapılması gerektiğini göstermektedir. Zhang vd. organik ankraj harçlarının yüksek sıcaklık sonrası (post-heating) kalıntı dayanımını incelemiş ve maruz kalınan sıcaklık ile ısıtma süresine bağlı olarak dayanım kaybının kalıcı olabileceğini ortaya koymuştur [9]. Muciaccia vd. ise farklı test düzeneklerinin (sabit yük–artan sıcaklık ve sabit sıcaklık–artan yük yaklaşımları) elde edilen bağ dayanımı-sıcaklık eğrilerini önemli ölçüde etkilediğini, dolayısıyla test protokolünün standartlaştırılmasının kritik olduğunu belirtmiştir [10].

4. YANGIN TASARIM METODOLOJİLERİ

4.1. Zaman Tabanlı (Geleneksel) Yaklaşım

Filiz ekimi bağlantılarının yangın tasarımında ilk kullanılan yöntemler, esasen Eurocode'un beton konik kopması (concrete cone breakout) modelinin zaman tabanlı olarak uyarlanmasına dayanır. Bu yaklaşımda

yangın direnci yalnızca standart R30, R60, R90 ve R120 sınıfları için ve yalnızca standart ISO 834 sıcaklık-zaman eğrisi (ISO, 1999) için hesaplanabilir; yangın maruziyeti tek taraflı kabul edilir; ek bir yüzeyden maruziyet söz konusu ise beton örtüsünün en az min(300 mm; 2·lb,fi) olması istenir; yalnızca C20/25 beton sınıfı kullanılabilir ve koruyucu önlemlerin (yangın panosu, sprey) sağladığı fayda ancak fiziksel yangın testleriyle kanıtlanabilir [11]. Bu yöntem, tarihsel olarak EOTA TR023 (EOTA, 2006) kapsamında bindirmeli bağlantılar ve basit mesnetli uç ankrajları için geliştirilmiş, sanayi uygulamasında "rijit düğüm (rigid node)" yöntemi olarak da anılmıştır [12]. Yöntemin muhafazakâr varsayımları, tasarımda sıklıkla daha büyük gömü boyu, daha kalın beton örtüsü veya ilave yangın koruma önlemleri gerektirmesine yol açmaktadır.

4.2. Sıcaklık Tabanlı Yaklaşım: Bağ Direnci Entegrasyon Yöntemi (RIM)

Zaman tabanlı yöntemin sınırlarını aşmak amacıyla, Fransız Bina ve Yapı Bilimsel ve Teknik Merkezi (CSTB) bünyesinde Pinoteau tarafından yürütülen doktora çalışması kapsamında "Bağ Direnci Entegrasyon Yöntemi" (Resistance Integration Method, RIM) geliştirilmiştir [6,13]. Yöntemin temel prensibi, harcın bağ dayanımının sabit bir kritik sıcaklık değeriyle değil, sürekli bir bağ gerilmesi–sıcaklık azalma eğrisiyle temsil edilmesi ve bu eğrinin, donatı boyunca değişen sıcaklık profiliyle birlikte "entegre edilerek" (integrating) toplam kapasitenin hesaplanmasıdır. Bu yaklaşım, EAD 330087 kapsamında standartlaştırılan test protokolüyle beslenir: Ø12 mm donatı, 120 mm gömü boyunda ve sabit yük altında artan sıcaklığa maruz bırakılarak (en az 20 numune üzerinde) bağ gerilmesi–sıcaklık azalma eğrisi elde edilir [14].

RIM yönteminin geçerliliği, çok sayıda deneysel çalışmayla doğrulanmıştır. Pinoteau vd., ısıtma hızının bağ göçmesi üzerindeki etkisini incelemiş; Lahouar vd., yüksek sıcaklık altında yapıştırılmış ankrajların mekanik davranışını deneysel olarak araştırmıştır [4,8]. Lahouar vd. donatı boyunca sıcaklık dağılımına maruz kimyasal ankrajlar için doğrusal olmayan bir "shear-lag" modeli önermiş; Lahouar vd. ise yöntemi, 2,94 × 2 × 0,15 m³ boyutlarında bir betonarme döşeme üzerinde standart ISO 834-1 yangın koşulları altında tam ölçekli olarak doğrulamıştır [7,15]. Al-Mansouri vd. yöntemi test koşullarının (ısıtma hızı, ölçüm noktaları) etkisi açısından irdelemiş [5,16]; Al-Mansouri vd. ise yöntemi filiz ekiminin ötesinde, genel yapıştırılmış (bonded) ankrajlara da genişleterek CSTB ve Kaiserslautern Üniversitesi'nde yürütülen iki ayrı deney programının sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak doğrulamıştır [17,18]. Bu çalışmaların ortak sonucu, sıcaklık tabanlı entegrasyon yaklaşımının, ürüne özgü test verileriyle beslendiğinde, farklı gömü boyu, donatı çapı, beton örtüsü ve yangın maruziyet süresi kombinasyonları için tutarlı ve deneylerle uyumlu sonuçlar verdiğidir. Her iki yaklaşımın karşılaştırılması Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. Zaman tabanlı ve sıcaklık tabanlı yangın tasarım modellerinin karşılaştırılması

Kriter	Zaman Tabanlı Model (Klasik / Eurocode uygulaması)	Sıcaklık Tabanlı Model (EOTA TR069)
Temel değişken	Yangına maruz kalma süresi (R30, R60, R90, R120)	Donatı boyunca sıcaklık dağılımı θ(x,t)
Yangın eğrisi	Yalnızca standart ISO 834 eğrisi	Farklı yangın (sıcaklık-zaman) eğrileri için uygulanabilir
Maruziyet yönü	Tek taraflı; ek yüzey için c ≥ min(300 mm; $2 \cdot l_{b,fi}$)	Tüm geometrik sınır koşulları serbestçe tanımlanabilir
Beton sınıfı	Yalnızca C20/25	C20/25 – C50/60 arası
Koruyucu önlem faydası	Yalnızca fiziksel yangın testi ile kanıtlanabilir	Basit ısıl (termal) simülasyonlarla hesaplanabilir
Moment etkisi	Sınırlı / dolaylı	Sıyrılma ve ayrılma için ayrı azaltma eğrileriyle doğrudan

4.3. EOTA TR069 Kapsamındaki Üç Adımlı Hesap Prosedürü

RIM yönteminin mühendislik pratiğine aktarılmış hâli, EOTA TR069 Teknik Raporu'nda üç adımlı bir prosedür olarak tanımlanmıştır [19]:

Adım 1 – Sıcaklık profilinin belirlenmesi: Uygulamaya özgü geometri (bindirmeli bağlantı veya uç ankrajı) ve malzeme özellikleri (EN 1992-1-1 ve EN 1992-1-2'de verilen ısıl özellikler) kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu ısı transferi simülasyonları gerçekleştirilir [3,20]. Bindirmeli bağlantılarda gömü boyunca yaklaşık sabit bir sıcaklık dağılımı, uç ankrajlarında ise gömü derinliğine bağlı olarak değişen (non-uniform) bir sıcaklık dağılımı elde edilir.

Adım 2 – Azaltılmış bağ ve ayrılma (splitting) dayanımının belirlenmesi: İlgili ürünün Avrupa Teknik Değerlendirmesinde (ETA) yer alan azaltma katsayısı–sıcaklık eğrisi (kb,fi(θ)) kullanılarak, donatı boyunca her konumdaki azaltılmış tasarım bağ dayanımı (fbd,fi) hesaplanır. Moment etkili bağlantılarda sıyrılma (pull-out, kfi,p(θ)) ve ayrılma (splitting, kfi,sp(θ)) göçme modları için ayrı azaltma eğrileri kullanılır; iki eğri arasında bir kesişim bulunmaması durumunda tasarımda daha düşük (belirleyici) eğri esas alınır.

Adım 3 – Ankraj boyu/kapasite doğrulaması: Azaltılmış bağ dayanımı, varsayılan bir ankraj uzunluğu için entegrasyon yöntemiyle bütünleştirilerek yangın altındaki taşıma kapasitesi (NRd,fi) hesaplanır; sıyrılma ve ayrılma göçme modları ayrı ayrı doğrulanır, beton konik kopması sıcaklık tabanlı bir azaltma faktörüyle ($N_{Rk,c,fi} = k_{(\theta c)} \cdot N_{Rk,c}$) kontrol edilir ve donatı akma dayanımı EN 1992-1-2'dekiyle aynı yöntemle ayrıca doğrulanır. Beton konik kopmasının yüksek sıcaklıkta deneysel doğrulaması, Al-Mansouri vd.'nin oda ve yüksek sıcaklıkta yürüttüğü deneysel çalışmayla desteklenmiştir [21].

4.4. Moment Etkili Uç Ankrajlarının Yangın Tasarımı: 2026 Güncellemesi

EOTA TR069'un ilk sürümleri (2020), sıcaklık tabanlı yöntemi yalnızca momentsiz bağlantılar ve bindirmeli bağlantılar için tanımlamaktaydı; moment etkisi taşıyan uç ankrajlarının yangın tasarımı (örneğin konsol bağlantıları) ise ancak özel geliştirilen ve zaman tabanlı, muhafazakâr "rijit düğüm" yöntemiyle veya beton örtüsünün artırılması ile koruyucu yangın panosu/spreyi uygulamasıyla, yani fiziksel test sonuçlarına dayanılarak yapılabilmekteydi [19]. 2026 yılında yayımlanan güncel EAD 332402 ve buna bağlı TR069 revizyonu ile birlikte, moment etkili uç ankrajları için de sıcaklık tabanlı, entegrasyon temelli tasarım mümkün hâle gelmiştir. Bu güncellemeyle, ilgili ürünlerin ETA'larında sıyrılma ve ayrılma için ayrı sıcaklık-azaltma eğrileri tanımlanmakta; 240 dakikaya kadar yangın direnci gereksinimleri karşılanabilmekte ve beton konik kopması ile donatı akması ayrı doğrulama adımları olarak eklenmektedir. Bu gelişmenin en önemli pratik sonucu, önceden zorunlu olan koruyucu yangın kablaması veya sprey uygulamasının artık gerekmemesidir; bu durum hem malzeme/işçilik tasarrufu hem de sürdürülebilirlik açısından belirgin faydalar sağlamaktadır.

4.4.1. EOTA TR069 2026 Güncellemesine Göre Hesap Detayları

Ülkemizde yapılsal ek olarak kullanılan filiz ekimi uygulamarında en önemli parametre sismik hareketleri hesaba olan etkisidir. Filiz ekimi hesaplarında ilk olarak bakılan koşul sismik durumda bağlantının güvenliğidir. Bu nedenle aşağıda hem sismik durum için hem de yangın etkisi altında hesap adımları verilmiştir. Bu hesaplar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 2.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sismik Durum (çatlak genişliği W_k=0,8 mm)

Konik Kopma Kontrolü

$$N_{Ed,eq} \leq N_{Rd,c,eq} = \frac{N_{Rk,c,eq}}{\gamma_{M,c}} \quad \text{Denk. 1}$$

$$N_{Rk,c,eq} = \alpha_{eq} \cdot N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{Denk. 2}$$

$$\alpha_{eq} = 1.0 \; eğer \; w_k = 0.3$$

$$\alpha_{eq} = 0.85 \; eğer \; w_k > 0.3 \quad \text{Denk. 3}$$

$$N^0_{Rk,c} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l^{1.5} \quad \text{Denk. 4}$$

$$A^0_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{Denk. 5}$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1.00 \quad \text{Denk. 6}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{N,1}}{s_{cr,N}}} \leq 1 \quad \text{Denk. 7}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot e_{N,2}}{s_{cr,N}}} \leq 1 \quad \text{Denk. 8}$$

$$\psi_{M,N} = 2 - \frac{z}{1.5 \cdot l_b} \geq 1.00 \quad \text{Denk. 9}$$

Ayrılma Kontrolü

$$N_{Ed,eq} \leq N_{Rd,sp,eq} = \frac{N_{Rk,sp,eq}}{\gamma_{M,c}} \quad \text{Denk. 10}$$

$$N_{Rk,sp,eq} = \tau_{Rk,sp,eq} \cdot l_b \cdot \varphi \cdot \pi \quad \text{Denk. 11}$$

$$\tau_{Rk,sp,eq} = \eta_1 \cdot \alpha_{eq,sp} A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\varphi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\varphi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m \cdot k_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7 \cdot \varphi}{l_b}\right)^{lb1} \quad \text{Denk. 12}$$

$\eta_1 = 1.0$ (iyi bağ koşulları için) Denk. 13

$$\tau_{Rk,sp,eq} \leq \tau_{Rk,sp,max,eq} = \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \; for \; 7 \cdot \varphi \leq l_b \leq 20 \cdot \varphi \quad \text{Denk. 14}$$

$$\tau_{Rk,sp,eq} \leq \tau_{Rk,sp,max,eq} = \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20 \cdot \varphi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \; for \; l_b > 20 \cdot \varphi \quad \text{Denk. 15}$$

$$c_d = min\left(\frac{a}{2}, c_1, c\right) \quad \text{Denk. 16}$$

$\frac{c_{max}}{c_d} \leq 3.5$ (Güvenli taraf için $\frac{c_{max}}{c_d} = 1.0$) Denk. 17

$k_m = 0$ Denk. 18

$k_{tr} = 0$ Denk. 19

A_k, $sp1$, $sp2$, $sp3$, $sp4$, $lb1$, $\Omega_{cr,eq}$, $\tau_{Rk,ucr}$, γ_{inst}, $\alpha_{eq,sp}$, $\alpha_{eq,p}$ ürün ETA belgesinden alınan değerlerdir.

Yangın Durumu için Tasarım

Konik Kopma Kontrolü

Yangın senaryosunda konik beton kopması kontrolünde kapasite hesaplanırken "Sıcaklık Azaltma Faktörü " denkleme eklenmektedir. terimi de Denk. 22 ile hesaplanmaktadır. Denk. 22'de bulunan "Ankraj Ucundaki Sıcaklık " ise sıcaklık similasyonunda alınmaktadır.

$$N_{Ed,fi} \leq N_{Rd,c,fi} = \frac{N_{Rk,c,fi}}{\gamma_{M,c_{M,c,fi}}} \qquad \text{Denk. 20}$$

$$N_{Rk,c,fi} = k\,(\theta c) \cdot N_{Rk,c} \qquad \text{Denk. 21}$$

$$k\,(\theta c) = \frac{1.1}{1+\frac{\theta c-20}{135}} - 0.1;\ 20°C \leq \theta c \leq 1200°C \qquad \text{Denk. 22}$$

$$N_{Rk,c,eq} = \alpha_{eq} \cdot N^0_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{M,N} \qquad \text{Denk. 2}$$

Diğer terimler sismik durum ile aynı şekilde hesaplanmaktadır (Bknz. Denk. 3-9).

Ayrılma Kontrolü

Yangın senaryosunda beton ayrılma kontrolünde kapasite hesaplanırken (Denk. 24), syılrılma ve ayrılma dayanımı ankrajlanma boyu üzerinde integre edilerek hesaplanır. İntegrasyonda kullanılan yapışma gerilmesi ise sıcaklığa bağlı azaltma faktörleri ve kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu faktörler ürün bazında test sonucu elde edilen ETA belgerinden alınacaktır.

$$N_{Ed,fi} \leq N_{Rd,sp,fi} = \frac{N_{Rk,sp,fi}}{\gamma_{M,c,fi}} \qquad \text{Denk. 23}$$

$$N_{Rk,sp,fi}(t) = \pi \cdot \phi \int_0^{l_{p,fi}} \tau_{Rk,p,fi}\,(\theta(t))\,dx + \pi \cdot \phi \int_x^{l_{sp,ft}} \tau_{Rk,sp,fi}\,(\theta(t))\,dx \qquad \text{Denk. 24}$$

$$\tau_{Rk,sp,fi}(\theta) = \tau_{Rk,sp} \cdot k_{fi,sp}(\theta) \qquad \text{Denk. 25}$$

$$\tau_{Rk,p,fi}(\theta) = \tau_{Rk,p} \cdot k_{fi,p}(\theta) \qquad \text{Denk. 26}$$

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m \cdot K_{tr}\right] \left(\frac{7\phi}{l_{b,fi}}\right)^{lb1} \qquad \text{Denk. 12}$$

A_k, $sp1$, $sp2$, $sp3$, $sp4$, $lb1$, Ω_{cr}, $\tau_{Rk,ucr}$, ψ^0_{sus}, γ_{inst}, $k_{fi,p}$, $k_{fi,sp}$ ürün ETA belgesinden alınan değerlerdir.

Diğer terimler sismik durum ile aynı şekilde hesaplanmaktadır (Bknz. Denk. 13-19).

Tablo 2'de görüldüğü gibi sismik durum ve yangın koşullarına göre donatı filiz ekimi boyları, diğer geometrik ve yükleme koşulları aynı olmasına karşın değişmektedir. Yangın senaryosu beton beton birleşimi bağlantısında kontrol edilen donatı kapasitesi, beton konik kopması ve beton ayrılma göçme modlarının tümünde kapasite kullanım oranlarını değiştirmiştir. Ancak en kritik bulgu ise bağlantıyı göçmeye götürecek olan mod sismik durumda konik kopma iken, yangın senaryolarında ise beton ayrılma modudur. Bu durum yangın durumunda kimyasal ankrajların kapasitesinin ciddi şekilde düşmesi ile açıklanabilir.

Tablo 2: Sismik durum, 60 dakika ve 120 dakika yangın senaryosunda filiz ekimi karşılaştırması

	Sismik Durum (çatlak genişliği W_k=0,8 mm)	60 Dakika Yangın Senaryosu	120 Dakika Yangın Senaryosu
Gömü Boyu	324 mm	380 mm	435 mm
Çelik donatı akma kapasitesi	%44	%38	%62
Beton konik kopma kapasitesi	%99	%70	%41
Beton ayrılma kapasitesi	%55	%100	%100

Kolon-Temel Birleşimi, 50X50 Kolon,
12Ø18 S420 donatı
Yük : Pz (basınç) 100 kN ;
My (moment) 100 kNm
Beton Sınıfı : C30
Pas payı : 25 mm
Kimyasal ankraj : HILTI HIT RE 500 V4

6. TARTIŞMA

Filiz ekimi bağlantılarının yangın tasarımında mühendislere üç temel "parametresi" sunulmaktadır: gömü derinliğinin artırılması, beton örtüsünün (pas payı) artırılması ve harç tipinin seçimi. İlk iki parametre, çoğu zaman geometrik kısıtlar (mevcut eleman kalınlığı, donatı sıklığı) nedeniyle sınırlı biçimde uygulanabilirken, üçüncü parametre olan harç seçimi, yalnızca ürün ETA'larının sunduğu sıcaklık-dayanım verileriyle mümkün olan, nispeten düşük maliyetli bir optimizasyon aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu bakımdan sıcaklık tabanlı tasarım yönteminin sağladığı en önemli katkı, mühendislere harç performansını tüm sıcaklık aralığında değerlendirme ve projeye özgü en uygun ürünü seçme imkânı tanımasıdır.

Bununla birlikte, yöntemin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Öncelikle, sıcaklık tabanlı tasarım, yalnızca ilgili ürün için EAD 330087/332402 kapsamında yürütülmüş özel yangın testleri ve buna dayalı ETA verisi mevcutsa uygulanabilir; bu nedenle piyasadaki tüm harç ürünleri için henüz genelleştirilebilir değildir. İkinci olarak, mevcut ETA verileri belirli donatı çapı, gömü boyu ve beton sınıfı aralıklarıyla sınırlıdır; bu aralıkların dışına çıkan uygulamalarda ekstrapolasyon riski doğabilir. Üçüncü olarak, mevcut TR069 metodolojisi esas olarak yangın esnasındaki (ısınma fazı) davranışı kapsamakta olup, yangın söndükten sonraki soğuma fazındaki kalıntı dayanım davranışı akademik literatürde henüz olgunlaşma aşamasındadır; Lahouar vd. ve ilgili soğuma-fazı çalışmaları, bu fazda ısı transferinin bir süre daha devam ettiğini ve bu nedenle bağ dayanımının yangının söndüğü ana kıyasla daha da düşebileceğini göstermektedir [7]. Dolayısıyla özellikle yapısal değerlendirme (yangın sonrası kullanılabilirlik tespiti) çalışmalarında bu hususun dikkate alınması gerekmektedir.

Türkiye'de yürürlükte olan mevzuat ve standartlar açısından bakıldığında, filiz ekiminin statik ve sismik tasarımı için EOTA onaylı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmış olmakla birlikte, yangın durumu için özel bir ulusal doğrulama çerçevesi bulunmamaktadır; bu bağlamda EOTA TR069 gibi Avrupa çapında kabul görmüş, bilimsel literatürle desteklenmiş bir metodolojinin ulusal uygulamalara da referans oluşturması önerilebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kimyasal ankraj ile filiz ekiminde yangın durumu için tasarım konusu ilgili akademik literatür ve mevcut yönetmelikler bir araya getirilerek incelenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

Cast-in donatı için geliştirilen zaman tabanlı, 500 °C kritik sıcaklık esaslı yangın tasarım yaklaşımı, organik esaslı kimyasal harçların çok daha düşük sıcaklıklarda dayanım kaybetmesi nedeniyle filiz ekimine doğrudan uygulanamamaktadır [4,5].

Pinoteau tarafından geliştirilen ve akademik camiada geniş ölçüde deneysel olarak doğrulanmış Bağ Direnci Entegrasyon Yöntemi (RIM), EOTA TR069 kapsamında mühendislik pratiğine sıcaklık tabanlı, üç adımlı bir hesap prosedürü olarak aktarılmıştır [7,13,17].

Bu yöntem, farklı beton sınıfları, gömü geometrileri ve yangın eğrileri için geleneksel zaman tabanlı yaklaşıma kıyasla çok daha esnek bir tasarım imkânı sunmaktadır.

2026 yılı itibarıyla moment etkili uç ankrajlarını da kapsayacak biçimde genişletilen yöntem, koruyucu yangın önlemlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırarak saha uygulama süresinde, sahiplik maliyetinde ve karbon ayak izinde kayda değer azalmalar sağlamaktadır.

Bu bulgular ışığında tasarımcılara, filiz ekimi uygulamalarında harç seçiminin yalnızca ortam sıcaklığındaki bağ dayanımına göre değil, ilgili ürünün ETA'sında yer alan tüm sıcaklık-dayanım eğrisi göz önünde bulundurularak yapılması önerilmektedir. Akademik açıdan ise; (i) daha geniş bir ürün/harç yelpazesi için bağımsız deneysel doğrulama çalışmalarının sürdürülmesi, (ii) eksenel yük-moment etkileşimli karmaşık yükleme senaryolarının kapsamının genişletilmesi ve (iii) soğuma fazındaki kalıntı dayanım davranışının tasarım kurallarına daha sistematik biçimde entegre edilmesi, gelecek çalışmalar için öncelikli alanlar olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Hamad, B. S., Rteil, A. A., & Salamé, T. (2006). Bond strength of reinforcing bars grouted using chemical adhesives. Materials and Structures, 39(5), 555–566.

[2] Muciaccia, G., Consiglio, A., & Rosati, G. (2016). Behavior and design of post-installed rebar connections under temperature. Key Engineering Materials, 711, 783–790.

[3] CEN – Avrupa Standardizasyon Komitesi. (2004b). EN 1992-1-2: Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. Brüksel: CEN.

[4] Pinoteau, N., Pimienta, P., Guillet, T., Rivillon, P., & Rémond, S. (2011). Effect of heating rate on bond failure of rebars into concrete using polymer adhesives to simulate exposure to fire. International Journal of Adhesion and Adhesives, 31(8), 851–861.

[5] Al-Mansouri, O., Mège, R., Pinoteau, N., Guillet, T., & Rémond, S. (2019). Influence of testing conditions on thermal distribution and resulting load-bearing capacity of bonded anchors under fire. Engineering Structures, 192, 190–204.

[6] Pinoteau, N., Heck, J.-V., Rivillon, P., Avenel, R., Pimienta, P., Guillet, T., & Rémond, S. (2013). Prediction of failure of a cantilever–wall connection using post-installed rebars under thermal loading. Engineering Structures, 56, 1607–1619.

[7] Lahouar, M. A., Pinoteau, N., Caron, J.-F., Foret, G., & Rivillon, P. (2018b). Fire design of post-installed bonded rebars: Full-scale validation test on a 2.94 × 2 × 0.15 m^3 concrete slab subjected to ISO 834-1 fire. Engineering Structures, 174, 81–94.

[8] Lahouar, M. A., Caron, J.-F., Pinoteau, N., Forêt, G., & Benzarti, K. (2017). Mechanical behavior of adhesive anchors under high temperature exposure: Experimental investigation. International Journal of Adhesion and Adhesives, 78, 200–211.

[9] Zhang, Y., Lou, G., Chen, K., & Li, G. (2016). Residual strength of organic anchorage adhesive for post-installed rebar at elevated temperatures and after heating. Fire Technology, 52, 877–895.

[10] Muciaccia, G., Navarrete, D. D., Pinoteau, N., & Mège, R. (2019). Effects of different test apparati and heating procedures on the bond properties of post-installed rebar connections under elevated temperatures. Materials and Structures, 52, 47.

[11] ISO – Uluslararası Standardizasyon Örgütü. (1999). ISO 834-1: Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements. Cenevre: ISO.

[12] EOTA – Avrupa Teknik Değerlendirme Kuruluşu. (2006). TR 023: Assessment of post-installed rebar connections. Brüksel: EOTA.

[13] Pinoteau, N. (2013). Behavior of post-installed rebars in concrete under fire (Doktora tezi). Lille Üniversitesi, Lille, Fransa.

[14] EOTA – Avrupa Teknik Değerlendirme Kuruluşu. (2018). EAD 330087-00-0601: Systems for post-installed rebar connections with mortar. Brüksel: EOTA.

[15] Lahouar, M. A., Pinoteau, N., Caron, J.-F., Forêt, G., & Mège, R. (2018a). A nonlinear shear-lag model applied to chemical anchors subjected to a temperature distribution. International Journal of Adhesion and Adhesives, 84, 438–450.

[16] Al-Mansouri, O., Mège, R., Pinoteau, N., Guillet, T., Piccinin, R., McBride, K., & Rémond, S. (2020). Numerical investigation of parameters influencing fire evaluation tests of chemically bonded anchors in uncracked concrete. Engineering Structures, 209, 110297.

[17] Al-Mansouri, O., Mège, R., Pinoteau, N., Guillet, T., Piccinin, R., McBride, K., Abate, M., & Rémond, S. (2021). Design recommendations for bonded anchors under fire conditions using the resistance integration method. Applied Sciences, 11(17), 7810. https://doi.org/10.3390/app11177810

[18] Reichert, M. (2020). Zur Bestimmung des Feuerwiderstands von Injektionsankern mit variabler Verankerungstiefe in Beton (Doktora tezi). Kaiserslautern Üniversitesi, Almanya.

[19] EOTA – Avrupa Teknik Değerlendirme Kuruluşu. (2020). TR 069: Design method for anchorage of post-installed reinforcing bar (rebar) connections with mortar as concrete reinforcement. Brüksel: EOTA. (2026 güncellemesiyle moment etkili uç ankrajlarının yangın tasarımını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir.)

[20] CEN – Avrupa Standardizasyon Komitesi. (2004a). EN 1992-1-1: Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brüksel: CEN.

[21] Al-Mansouri, O., Mège, R., Pinoteau, N., Guillet, T., Piccinin, R., McBride, K., & Rémond, S. (2022). Experimental investigation of the concrete cone failure of bonded anchors at room and high temperature. Applied Sciences, 12(9), 4760. https://doi.org/10.3390/app12094760

KISA ÖZGEÇMİŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği mezunu (2015) olup yapı malzemeleri ve yapı mühendisliği alanında yüksek lisans derecesine sahiptir (2019). Sürdürülebilir beton konusunda doktora çalışmalarını sürdürmektedir. Akademik kariyerini, sürdürülebilir beton teknolojileri ve endüstriyel atıkların yapı malzemelerinde kullanımı üzerine yürüttüğü bilimsel çalışmalar ve uluslararası yayınlarla desteklemiştir. Profesyonel kariyerinde ise 2022 yılından beri Hilti Türkiye'de Mevzuat Yönetim Müdürü olarak görev yapmaktatır.

ATRİUMLU ÜNİVERSİTE BİNALARINDA PERFORMANSA DAYALI YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIMI: İTÜ SÜLEYMAN DEMİREL KÜLTÜR MERKEZİ ÖRNEĞİ

İsmail Hilmi KESKİN

Hakan Serhad SOYHAN

ÖZET

Atriumlu toplanma yapılarında yangın güvenliğinin yalnızca kurallara dayalı yönetmelik maddeleriyle sağlanması, düşey boşluğun duman taşıma işlevi ve özgün tavan geometrileri nedeniyle yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'ndeki Süleyman Demirel Kültür Merkezi için performansa dayalı bir değerlendirme yapılmış; duman hareketi FDS ile, kullanıcı tahliyesi Pathfinder ile çözülerek kullanılabilir kaçış süresi (ASET) ve gerekli kaçış süresi (RSET) karşılaştırılmıştır. Atrium tabanında 2,5 ve 5,0 MW, mutfakta ve ara kat koridorunda 2,5 MW olmak üzere dört tasarım yangını senaryosu 900 s süreyle çözülmüştür. Dört senaryoda da ASET'i belirleyen kriter sıcaklık değil görüş mesafesi olmuş; ara kat koridoru yangınında hiçbir noktada 60 °C aşılmamıştır. Ortak alanlar için en kritik ASET değeri 195 s'dir. 606 kullanıcılı tahliye modelinde, tüm kaçış yolları kullanılabilir kabul edildiğinde yürüme süresi tek başına 220,7 s ile bu değeri aşmaktadır; atriuma açık merdivenler kaybedildiğinde süre 279,6 s'ye, sahne önü çıkışı da kaybedildiğinde 596,8 s'ye çıkmaktadır. Algılama, alarm ve hazırlık süreleri eklendiğinde RSET, ASET'i en iyimser durumda 1,9 kat aşmaktadır. Ayrıca atrium tavanının kaset formu nedeniyle yağmurlama ve nokta tipi algılayıcı montajı geometrik olarak ve mimari estetik kaygı nedeniyle uygulanamamakta; alternatif olarak değerlendirilen monitör tipi söndürme sisteminin optik hedefleme penceresi ise 2,5 MW'ta 170 s, 5,0 MW'ta 135 s ile sınırlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Atrium, performansa dayalı tasarım, FDS, Pathfinder, ASET/RSET, BYKHY

PERFORMANCE-BASED FIRE SAFETY DESIGN IN UNIVERSITY BUILDINGS WITH ATRIA: THE CASE OF THE ITU SÜLEYMAN DEMİREL CULTURAL CENTRE

ABSTRACT

In assembly buildings with atria, compliance with prescriptive code provisions alone may be insufficient, because the vertical void acts as a smoke transport path and unusual ceiling geometries restrict the installation of active systems. This study presents a performance-based assessment of the Süleyman Demirel Cultural Centre on the Ayazağa Campus of Istanbul Technical University. Smoke transport is solved with FDS and occupant evacuation with Pathfinder, and the available safe egress time (ASET) is compared with the required safe egress time (RSET). Four design fire scenarios — 2.5 and 5.0 MW at the atrium floor, and 2.5 MW in the kitchen and on the mezzanine corridor — were simulated for 900 s. In all four scenarios ASET was governed by visibility rather than temperature; in the mezzanine corridor fire the 60 °C threshold was never exceeded at any measurement point. The most critical ASET for common areas is 195 s. In the evacuation model with 606 occupants, the travel time alone is 220.7 s when all egress routes are assumed available, already exceeding this value; it rises to 279.6 s when the routes open to the atrium are

lost, and to 596.8 s when the stage-level exit is also lost. Once detection, alarm and pre-movement times are added, RSET exceeds ASET by a factor of at least 1.9. Furthermore, the coffered ceiling of the atrium precludes conventional sprinkler and point-type detector installation both geometrically and in terms of preserving the architectural character of the space, while the optical targeting window of the monitor-type suppression system considered as an alternative is limited to 170 s at 2.5 MW and 135 s at 5.0 MW.

Key words: Atrium, performance-based design, FDS, Pathfinder, ASET/RSET, Turkish Fire Code

1. GİRİŞ

Binaların yangından korunmasına ilişkin düzenlemeler geleneksel olarak kurallara dayalı (prescriptive) bir yapıya sahiptir. Kaçış yolu genişliği, kaçış mesafesi, kompartıman alanı ve yapı elemanlarının yangına dayanım süresi gibi büyüklükler, kullanım sınıfı ve kat sayısına bağlı tablolarla belirlenir. Bu yaklaşım, tipik geometriye ve öngörülebilir kullanıcı davranışına sahip binalarda güvenli sonuçlar üretmektedir.

Atriumlu binalarda ise iki temel sınırlama ortaya çıkar. Birincisi, kural setinin dayandığı örtük kabuller (duman tabakasının belirli bir yükseklikte kalması, kat bazlı bölümlendirmenin duman yayılımını sınırlaması, tüm kaçış yollarının tahliye boyunca kullanılabilir kalması) düşey boşluğun bulunduğu hacimlerde geçerliliğini yitirir. İkincisi, mimari tasarımın gerektirdiği bazı çözümler, yönetmeliğin öngördüğü aktif sistem yerleşimlerini fiziksel olarak uygulanamaz kılabilir. Bu noktada, tasarımın hedeflenen güvenlik düzeyini sağladığının mühendislik analizleriyle kanıtlandığı performansa dayalı yangın güvenliği tasarımı devreye girmektedir [1, 3, 5].

Performansa dayalı yaklaşımın can güvenliği kabul kriteri, kullanılabilir kaçış süresinin (ASET) gerekli kaçış süresinden (RSET) yeterli bir emniyet payı ile büyük olmasıdır. ASET, yangın kaynaklı koşulların dayanılabilir sınırları aştığı ana kadar geçen süre olup büyük ölçüde duman hareketinin doğru çözülmesine bağlıdır. RSET ise algılama, alarm, hazırlık ve yürüme sürelerinin toplamıdır [2, 4].

Ülkemizde bu alandaki çalışmalar son yıllarda artmıştır. Satır ve Topraklı [6], yönetmeliğe uygun tasarlanmış toplanma amaçlı yapıların simülasyon tabanlı tahliye performansını incelemiş ve yönetmelik sınırlarının kendiliğinden yeterli bir tahliye süresi güvencesi vermediğini ortaya koyarak performansa dayalı analizlerin önünün açılmasını önermiştir. Kadı vd. [7] hastane binalarında FDS ile tahliye simülasyonunu birlikte kullanarak kullanıcıların dumandan etkilenme oranlarını incelemiş; Uluç vd. [8] aynı yöntem bütünüyle alışveriş merkezlerinde çıkış olanaklarını değerlendirmiştir. Duman yayılımı ile görüş mesafesi, sıcaklık ve CO değişimlerinin birlikte izlendiği performans analizi modelleri [9] ile düşey iç boşluklarda baca etkisini inceleyen çalışmalar [10] da bu literatürü oluşturmaktadır.

Uluslararası literatürde atrium yangınlarına ilişkin en kapsamlı deneysel veri kümesi, Gutiérrez-Montes vd. [11, 12] tarafından yaklaşık 20 m küp hacimli tam ölçekli bir test tesisinde 1,3–2,3 MW havuz yangınlarıyla üretilmiştir. Bu çalışmalar, FDS öngörülerinin duman sütununun uzak alanında deneysel verilerle iyi uyum gösterdiğini, alev bölgesi ve alt sütun bölgesinde ise doğruluğun düştüğünü ortaya koymuştur. Kültür varlığı niteliğindeki çok katlı bir yapıda yaya akışı tahliyesinin modellendiği çalışma [13] bu çalışmanın bina tipiyle doğrudan ilişkilidir. Atriumlu bir kütüphane binasında baca etkisinin dumanı 300 s içinde üst katlara taşıdığı ve merdiven görüş mesafesini kritik düzeye indirdiği; yangın konumuna bağlı olarak ASET > RSET koşulunun sağlanabildiği ya da sağlanamadığı gösterilmiştir [14]. Büyük ölçekli ticari yapılarda çıkış kapasitesinin ASET–RSET dengesine etkisi [15] ve merdivenlerdeki güvenlik marjına göre darboğazların derecelendirilmesi [16] de incelenmiştir.

Bu çalışmanın özgün katkısı üç başlıkta toplanmaktadır: (i) mevcut bir üniversite kültür merkezinin röleve geometrisi üzerinden ASET–RSET dengesinin sayısal olarak ortaya konması, (ii) kaçış yollarının kademeli kaybı durumunun ayrı senaryolar hâlinde modellenerek kurallara dayalı yaklaşımın "tüm çıkışlar kullanılabilir" kabulünün sınanması, (iii) atrium tavanındaki kaset geometrisi nedeniyle önerilen monitör tipi söndürme sisteminin etkinlik penceresinin CFD sonuçlarıyla nicelleştirilmesi.

2. İNCELENEN BİNA

2.1. Genel Tanım

Süleyman Demirel Kültür Merkezi (SDKM), İTÜ Ayazağa Kampüsü içerisinde yer alan, konferans salonu, fuaye, sergi alanı, toplantı salonları ve restoran/mutfak bölümlerini bir arada barındıran çok katlı bir toplanma yapısıdır. Yapı, üç kullanım kotunu düşey olarak birbirine bağlayan bir atrium etrafında örgütlenmiştir. Bina künyesi Tablo 1'de verilmiştir.

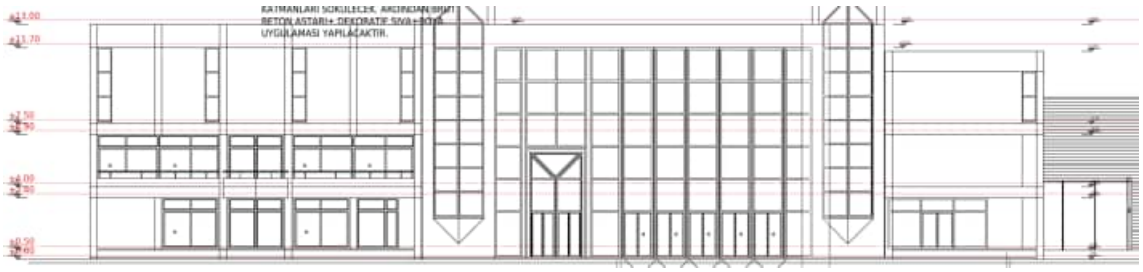
Tablo 1. İncelenen binanın künyesi

Özellik	Değer	Kaynak
Kat kotları	Alt hol +0,50 m / Ara hol +4,00 m / Üst hol +7,50 m	Kesit projesi
Kat yüksekliği	3,50 m + 3,50 m (eşit)	Kesit projesi
Çatı kotu	+11,70 / +13,00 m (sahne kulesi +16,60 m)	Kesit projesi
Atrium plan alanı	X 4,8 – 40,2 m × Y 15,0 – 32,4 m	Röleve
Atrium net yüksekliği	≈ 11,5 m (tavan kotu 12,0 m)	Röleve
Atrium tavanı	Kare kaset (karolaj), tavanın tamamını kaplıyor	Fotoğraf / ölçekleme
Cephe	Tam yükseklik cam giydirme	Röleve
Konferans salonu alanı	403,75 m² oturma + 116,82 m² sahne = 520,6 m²	AutoCAD ölçümü
Konferans salonu tavanı	6,49 m	Tespit projesi
Koltuk sayısı	476 (19 sıra × 25)	DXF sayımı
Salon rake eğimi	3,50 m / 19,0 m = %18,4 (10,4°)	AutoCAD ölçümü
Düşey sirkülasyon	Anıtsal açık merdiven (atrium içi) + iki kapalı merdiven	Röleve

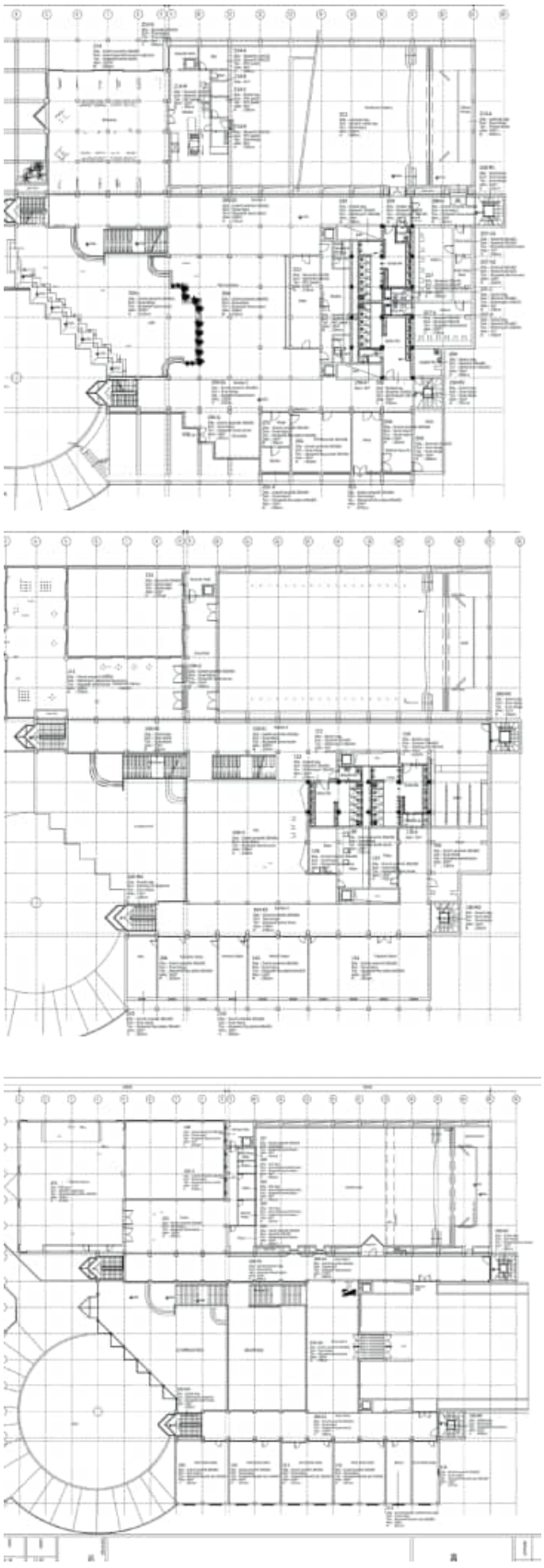
Not: Tespit projesinde konferans salonu alanı 930 m² olarak beyan edilmiştir. AutoCAD ortamında röleve üzerinden yapılan ölçüm 520,6 m² vermektedir; bu çalışmada ölçülen değer kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) Atrium iç mekânı, kaset tavan ve anıtsal merdiven, (b) kaset tavan detayı



Şekil 2. Bina kesiti ve kat kotları



Şekil 3. Kat planları: (a) alt zemin (+0,50), (b) ara kat (+4,00), (c) üst kat (+7,50)

2.2. Kaçış Yollarının Mevcut Durumu

Röleve incelemesinde, kaçış yollarının kullanılabilirliğini doğrudan etkileyen bir dizi mevcut durum tespiti yapılmıştır. Bu tespitler hem modelin kurgusunu hem de senaryo tanımlarını belirlemiştir.

Konferans salonunun kullanılabilir üç çıkışı bulunmaktadır (Tablo 2). K1 kapısı sahne önünde +0,50 kotuna, K3 ve K4 kapıları ise salonun arkasında +4,00 kotundaki Giriş Holü'ne açılmaktadır. Giriş Holü 3,65 × 14,65 m boyutlarında olup, batı duvarındaki H1 ve H2 çıkışları sonradan örülerek kapatılmıştır. Holün koridora tek bağlantısı, güney ucundaki 3,20 m net genişliğindeki açıklıktır. Dolayısıyla salonun iki çıkışı (K3 ve K4) aynı hole açılmakta, o hol de tek bir açıklıkla koridora bağlanmaktadır. Yönetmeliğin "iki bağımsız çıkış" şartı sayısal olarak sağlanıyor görünse de, çıkışlar fonksiyonel olarak bağımsız değildir.

Tablo 2. Konferans salonu kaçış kapıları

Kapı	Kot	Net genişlik	Açıldığı hacim	Modelde
K1	+0,50	1,94 m	Sahne önü / alt zemin fuaye	Var
K2	+0,50	≈1,95 m	Sahne arkası (teknik personel)	Yok
K3	+4,00	1,98 m	Giriş Holü	Var
K4	+4,00	1,98 m	Giriş Holü	Var

Düşey iniş yollarının üçü de duman riski altındadır. Anıtsal merdiven 2,70 m genişliğinde ve tek sürekli kol hâlinde atriumun içinden geçmektedir; etkin genişliği 2,40 m olup yaklaşık 2,6 kişi/s akış kapasitesine karşılık gelmektedir. Batı kaçış merdiveni korunumsuz olup atriumla aynı hacme açıktır. Doğu kaçış merdiveni etrafı kapalı olmakla birlikte kovasında yangın kapısı bulunmamakta, normal kapı kullanılmaktadır; kol genişliği 1,04 m'dir. Ayrıca ara kat fuayesinin batısındaki terasa aşağı inen bir merdiven bulunmamaktadır; bu çıkmaz teras, panik anında kullanıcıyı hapsedebilecek bir düzenlemedir ve modelde kaçış yolu olarak değerlendirilmemiştir.

2.3. Kaset Tavan Geometrisi ve Aktif Sistemlerin Uygulanabilirliği

Atriumu örten tavan, tavanın tamamını kaplayan kare kaset (karolaj) formundadır. İmalat çizimleri temin edilemediğinden geometri fotoğraflardan ölçeklendirilmiştir: ana kiriş eksen aralığı ≈ 5,4 m, ikincil nervür aralığı ≈ 1,8 m, kiriş genişliği ≈ 0,6 m, sarkma ≈ 0,5–0,6 m. Bu geometri iki bağımsız soruna yol açmaktadır.

Birincisi algılama sorunudur. Noktasal duman ve ısı algılayıcıları, tavan altında oluşan duman jetinin sürekli bir tabaka hâlinde algılayıcı üzerinden geçmesi esasına göre çalışır. Kaset gözleri duman jetini her göz içinde ayrı ayrı hapsederek yatay yayılımı geciktirmekte; güvenilir algılama için her gözün ayrı ayrı donatılması gerekmektedir. Bu, erişim, bakım ve maliyet açısından uygulanabilir değildir.

İkincisi söndürme sorunudur ve bu sorunun biri geometrik, diğeri zamansal olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır. Geometrik bileşen, yağmurlama başlıklarının standartlara [27] göre yerleştirilmesi hâlinde kaset kirişlerinin deflektör montaj yüzeyini ortadan kaldırması ve püskürtme desenini bölmesidir; BYKHY'nin deflektör–tavan mesafesi ve engel kuralları bu geometride sağlanamamaktadır.

Zamansal bileşen ise literatürde daha belirleyici olarak gösterilmektedir. Nam vd. [34] ile Kung vd. [33], depolama dışı yüksek tavanlı kullanımlarda yağmurlama korumasını tam ölçekli deneylerle incelemiştir. Kung vd. [33], 18 m tavan yüksekliğinde RTI ≈ 130 (m·s)^1/2 değerine sahip bir başlık için ilk aktivasyon anında yangının ulaştığı ısıl gücü 7–8 MW mertebesinde tahmin etmiştir. Bu değer, bu çalışmada incelenen 2,5 MW ve 5,0 MW tasarım yangınlarının her ikisinin de üzerindedir. Başka bir deyişle, 11,5 m yüksekliğindeki atriuma klasik bir yağmurlama sistemi tesis edilse dahi, tasarım yangını tam gelişse bile sistemin aktive olması beklenmemektedir.

Üçüncü bir kısıt mimari niteliktedir. Kaset tavan, bu yapının atrium mekânını tanımlayan başat mimari öğedir ve mekânın karakteri büyük ölçüde bu geometrinin kesintisiz okunabilirliğine dayanmaktadır. Klasik bir yağmurlama sisteminin tesisi, kaset gözleri arasında görünür boru hatları, iniş kolları ve her göze ayrı ayrı yerleştirilecek başlık ve algılayıcılar gerektirecek; bu da tavan yüzeyinin bütünlüğünü bozacaktır. Kültür yapılarında mimari niteliğin korunması, performansa dayalı tasarımda dikkate alınması gereken meşru bir tasarım kısıtıdır; nitekim bu tür yapılarda görünür tesisat, işveren ve tasarımcı tarafından çoğu zaman kabul edilmemektedir. Dolayısıyla yağmurlama seçeneği, teknik açıdan zaten sınırlı olan etkinliğinin yanı sıra mimari açıdan da benimsenebilir değildir.

Bu kısıtlar birlikte değerlendirildiğinde, atrium hacmi için klasik yağmurlama sisteminin geometrik, zamansal ve mimari açılardan uygulanamaz olduğu; bunun yerine yangın kaynağını optik olarak izleyip su jetini doğrudan yönlendirebilen monitör tipi (otomatik su topu) söndürme sisteminin değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu tercih literatürle desteklenmektedir: Chen vd. [30] büyük hacimler için otomatik yangın arama ve söndürme sistemi kavramını tanımlamış; Xin vd. [31] 20 MW kapasiteli kalorimetre altındaki tam ölçekli deneylerde su topunun yağmurlamaya kıyasla belirgin biçimde daha hızlı tepki verdiğini göstermiştir. Aynı ekibin sonraki çalışmasında [32] yüksek tavanlı depolama dışı kullanımlar arasında atrium hacimleri, sinema salonları ve oditoryumlar açıkça sayılmaktadır. Bu sistemlere ilişkin başlıca düzenlemeler NFPA 15 [28] ve GB 50338 [29]'dur. Sistemin etkinlik koşulu Bölüm 5'te sayısal olarak sınanmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. FDS Modeli ve Hesaplama Ağı

Duman ve ısı yayılımı, büyük girdap benzetimi (LES) yaklaşımını kullanan FDS çözücüsü ile hesaplanmıştır [17]. Geometri, röleve çizimlerinden PyroSim ön işlemcisi kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplama yükünü paralel çözüme dağıtmak amacıyla altı hesap ağı kullanılmış; ağ bölme düzlemleri atrium boşluğundan ve yangın kaynağı bölgelerinden geçmeyecek biçimde konumlandırılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Hesaplama ağı özellikleri

Parametre	Değer
Çözüm alanı	X −9,0…66,6 m, Y −1,8…58,2 m, Z 0,0…13,5 m
Hücre boyutu	0,60 × 0,60 × 0,50 m
Mesh sayısı	6
Toplam hücre sayısı	340.200
Mesh bölme düzlemleri	X = 10,2 / 40,2 m; Y = 34,2 m
Karakteristik yangın çapı D*	1,39 m (2,5 MW)
D*/δx	2,3
Simülasyon süresi	900 s

Tablo 4. Tasarım yangını ve yanma parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Büyüme modeli	t^2, fast	Yakıt formülü	$C_1H_{1,13}O_{0,33}N_{0,16}$
Büyüme süresi TAU_Q	231 s	Yanma ısısı	25.000 kJ/kg
α (2,5 / 5,0 MW)	0,0469 / 0,0937 kW/s²	CO verimi	0,04
Brülör alanı	2,0 × 2,0 m = 4 m²	İs verimi	0,10
HRRPUA (2,5 / 5,0 MW)	625 / 1250 kW/m²	Radyasyon	Gri gaz

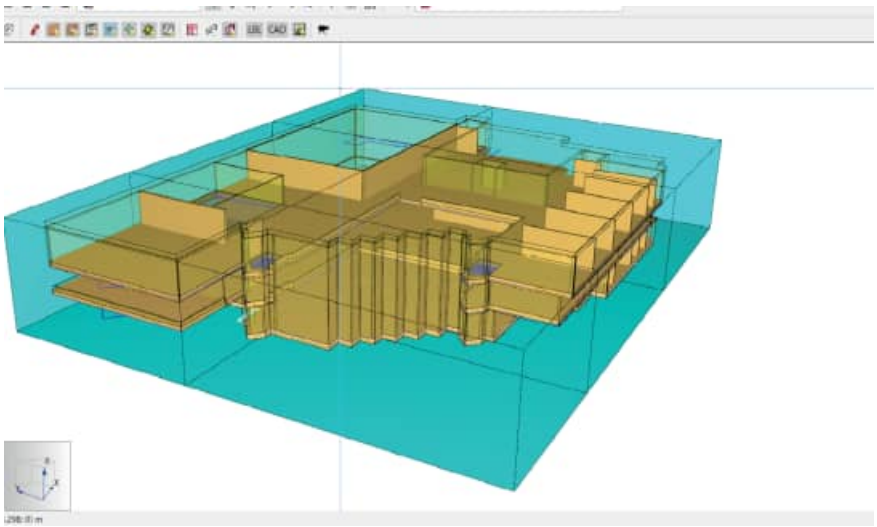
Tablo 5. Senaryo matrisi

Senaryo	Konum	Koordinat X / Y / Z (m)	Tepe güç	Amaç
S1a	Atrium tabanı	15–17 / 30–32 / 0,5	2,5 MW	Referans senaryo
S1b	Atrium tabanı	15–17 / 30–32 / 0,5	5,0 MW	Güç duyarlılığı
S2	Mutfak / restoran	25–27 / 45–47 / 0,5	2,5 MW	Yüksek yangın yükü
S3	Ara kat koridoru	10,8–12,8 / 36–38 / 4,00	2,5 MW	Kaçış yolu üzerinde yangın

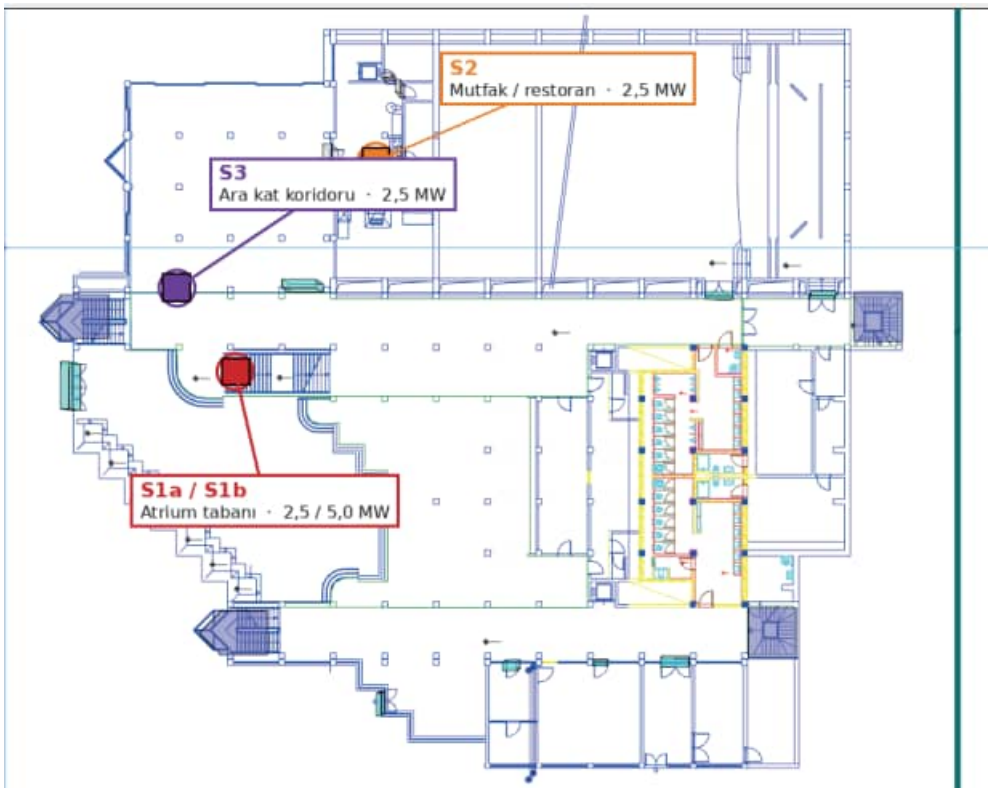
Literatürde, yangın sütununun yeterli çözünürlükte çözülebilmesi için $D^*/\delta x$ oranının en az 4 olması önerilmektedir [17, 18]. Bu çalışmada elde edilen 2,3 değeri bu sınırın altındadır; gerekçesi, tüm binayı kapsayan çözüm alanının büyüklüğü ile mevcut hesaplama kaynağı arasındaki dengedir. Bu durum Bölüm 8'de sınırlılık olarak beyan edilmiştir. Modelin enerji tutarlılığı, salınan ısının püskürtülen yakıtın enerji eşdeğeri (MLR × HoC) ile karşılaştırılmasıyla dört senaryoda da doğrulanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Isıl güç doğrulaması

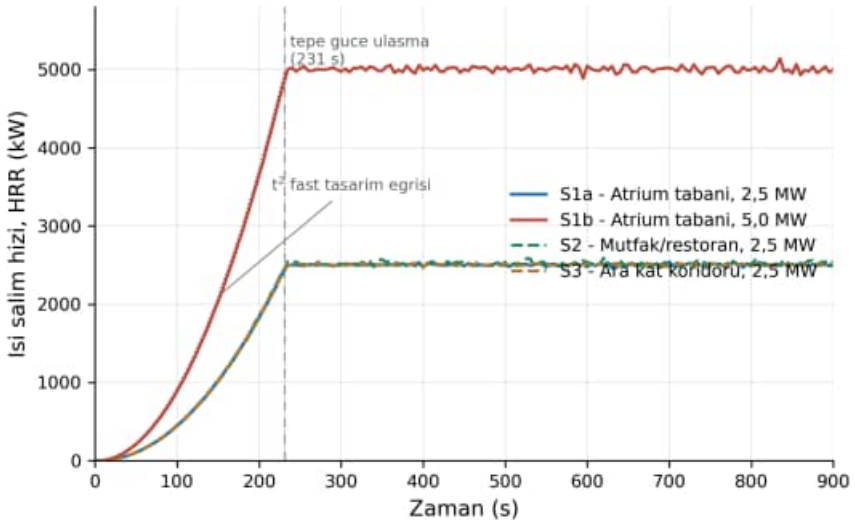
Senaryo	Hedef (kW)	Ölçülen ortalama HRR (kW)	Salınım
S1a	2500	2504	%0,6
S1b	5000	5006	%0,7
S2	2500	2519	%1,0
S3	2500	2505	%0,4



Şekil 4. Üç boyutlu bina modeli ve hesaplama ağı bölünmesi



Şekil 5. Tasarım yangını senaryolarının plan üzerindeki konumları (S3 ara kat kotunda, diğerleri alt zemin kotundadır)



Şekil 6. Tasarım yangınlarının ısıl güç eğrileri

3.2. Performans Kriterleri ve Ölçüm Düzlemleri

ASET'in belirlenmesinde kullanılan dayanılabilirlik eşikleri Tablo 7'de verilmiştir. Eşiklerden herhangi birinin ilk aşıldığı an, ilgili ölçüm noktası için ASET olarak kabul edilmiştir. Ölçümler, her katın döşemesinden yaklaşık 1,8 m yükseklikteki göz seviyesine karşılık gelen 2,5 / 6,0 / 9,5 m ızgara düzlemlerinde yapılmıştır.

Tablo 7. Dayanılabilirlik (tenabilite) kriterleri

Kriter	Eşik	Kaynak
Görüş mesafesi	< 10 m	[3], [21]
Gaz sıcaklığı	> 60 °C	[3], [24]
FED (kesirli etkin doz)	> 0,3	[22]

3.3. Pathfinder Tahliye Modeli

Tahliye analizi ajan tabanlı Pathfinder modeliyle gerçekleştirilmiştir [20]. Geometri, FDS modeliyle aynı röleve verisinden üretilmiş; her kat ayrı düzlem olarak tanımlanmıştır. Model künyesi Tablo 8'de, kullanıcı yükü dağılımı Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 8. Pathfinder model künyesi

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Yazılım	Pathfinder 2023.3.1206	Kat düzlemleri	+0,50 / +4,00 / +7,50
Hareket modeli	Steering	Bileşen sayısı	108 (70 kapı)
Davranış	Goto Any Exit	Navigasyon ağı	6.689 üçgen
Yürüme hızı	1,19 m/s	Omuz genişliği	45,58 cm
Initial delay	0 s	CPU süresi	17–28 s

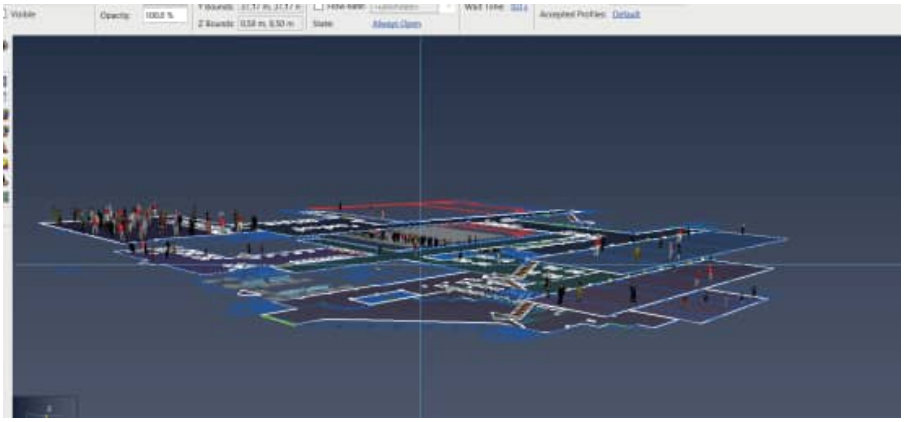
Tablo 9. Kullanıcı yükü dağılımı

Mahal	Kot	Kişi	Dayanak
Konferans salonu	+0,50 / +4,00	476	Koltuk sayımı
Senato salonu	+7,50	80	Kapasite
Üst kat ofisler ve teknik odalar	+7,50	20	Mahal listesi
Ara kat ofisler ve VIP fuaye	+4,00	20	Mahal listesi
Zemin ofisler ve diğer	+0,50	10	Mahal listesi
TOPLAM		**606**	

Kurallara dayalı yaklaşımın örtük kabulü, tüm kaçış yollarının tahliye boyunca kullanılabilir kalmasıdır. Bu kabulü sınamak amacıyla, kaçış yollarının duman nedeniyle kademeli olarak kaybedildiği üç tahliye senaryosu tanımlanmıştır (Tablo 10). Üç senaryoda da dış çıkış kapıları açık tutulmuştur; kaybedilen, kapının kendisi değil oraya ulaşan güzergâhtır.

Tablo 10. Tahliye senaryoları

Senaryo	Kullanılamayan kaçış yolları	Gerekçe
A	— (tümü açık)	Kurallara dayalı yaklaşımın örtük kabulü; RSET alt sınırı
B	Anıtsal merdiven + batı merdiveni	Her ikisi de atriuma açık ve korunumsuz; duman bu güzergâhları kullanılamaz kılar
C	B + K1 (sahne önü, +0,50)	Duman alt hole indiğinde +0,50 kotundaki güzergâh da kaybedilir



Şekil 7. Tahliye modelinin genel görünümü ve başlangıç kullanıcı dağılımı

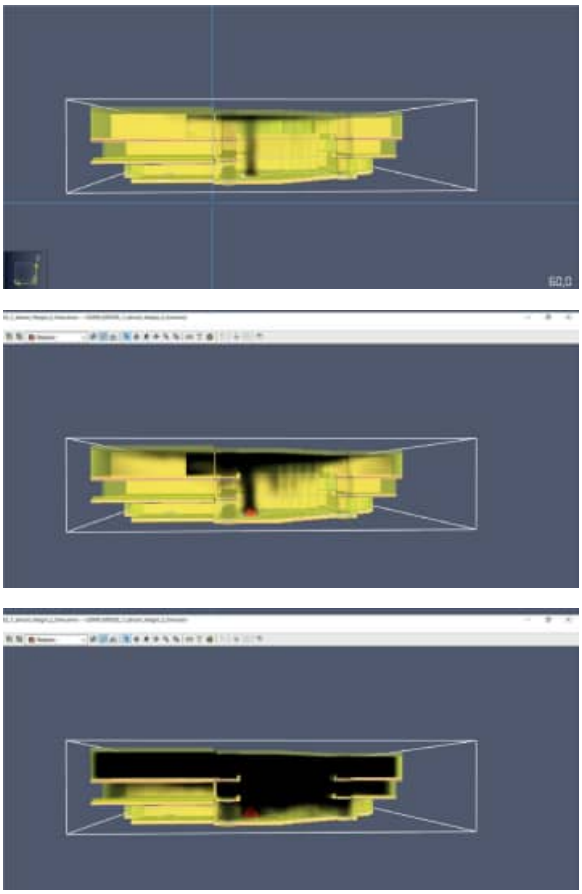
4. BULGULAR — DUMAN YAYILIMI VE ASET

4.1. Atrium Tabanı Yangınları (S1a, S1b)

Atrium tabanındaki yangınlarda duman sütunu kaset tavana ulaştıktan sonra tavan altında yayılmakta ve tabaka aşağı doğru büyümektedir. Cam cephede kırılma kabulü yapılmadığından duman hacim içerisinde kalmakta, doğal tahliye gerçekleşmemektedir. Güç iki katına çıktığında duman tabakası oluşum süresi çok az değişmekte (95 → 90 s), buna karşılık göz seviyesindeki koşullar belirgin biçimde erken bozulmaktadır (Tablo 11).

Tablo 11. S1a / S1b — atrium tabanı yangını, güç karşılaştırması

Ölçüm noktası	Belirleyici kriter	2,5 MW (S1a)	5,0 MW (S1b)
Duman tabakası (LAYER)	görüş	95 s	90 s
Alt hol	görüş	310 s	235 s
Üst hol	60 °C	aşılmadı	320 s
Ara hol	60 °C	aşılmadı	460 s
Konferans salonu	görüş	770 s	595 s



Şekil 8. S1a senaryosunda duman kolonunun gelişimi: (a) 60 s, (b) 120 s, (c) 300 s

4.2. Mutfak/Restoran Yangını (S2)

Mutfak yangınında koşullar yangın hacminde çok hızlı bozulmaktadır: görüş mesafesi 75 s'de eşiğin altına inmekte, tepe sıcaklık 270 °C'ye ulaşmakta ve FED değeri 1,19 ile ölümcül eşiği aşmaktadır. Buna karşılık duman komşu ortak alanlara görece geç ulaşmaktadır (Tablo 12).

Tablo 12. S2 — mutfak/restoran yangını, 2,5 MW

Ölçüm noktası	Görüş < 10 m	Sıcaklık > 60 °C	ASET
Mutfak	75 s	135 s	75 s
Restoran	160 s	320 s	160 s
Alt hol (kuzey)	325 s	—	325 s
Ara hol kuzey	420 s	—	420 s
Konferans salonu	ulaşmadı	ulaşmadı	> 900 s

4.3. Ara Kat Koridoru Yangını (S3)

Bu senaryo, ortak alanlar açısından en kritik ASET değerlerini üretmektedir. Kaçış yolu üzerinde başlayan yangının dumanı koridordan atriuma dökülmekte ve düşey boşluk aracılığıyla diğer kotlara taşınmaktadır. Alt hol kuzeyde ASET 195 s ile tüm senaryolar içindeki en düşük ortak alan değerine ulaşmaktadır (Tablo 13).

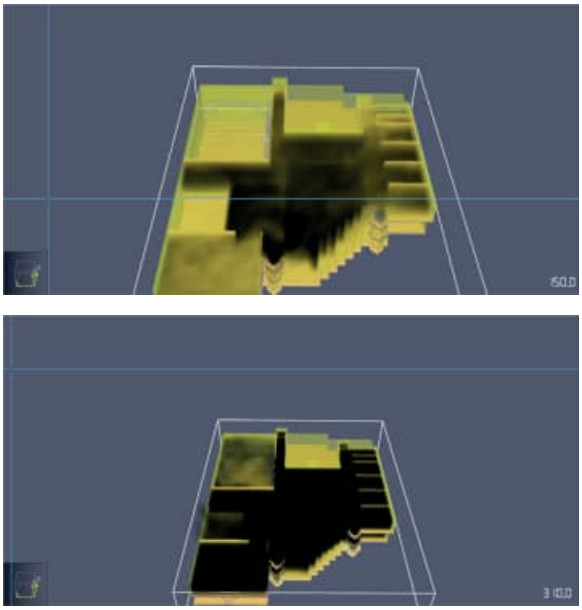
Tablo 13. S3 — ara kat koridoru yangını, 2,5 MW

Ölçüm noktası	Görüş < 10 m	ASET
Duman tabakası (LAYER)	100 s	100 s
Alt hol kuzey	195 s	195 s
Alt hol (orta)	250 s	250 s
Alt hol (batı)	275 s	275 s
Güney hol	305 s	305 s
Ara hol kuzey	310 s	310 s
Konferans salonu	ulaşmadı	> 900 s

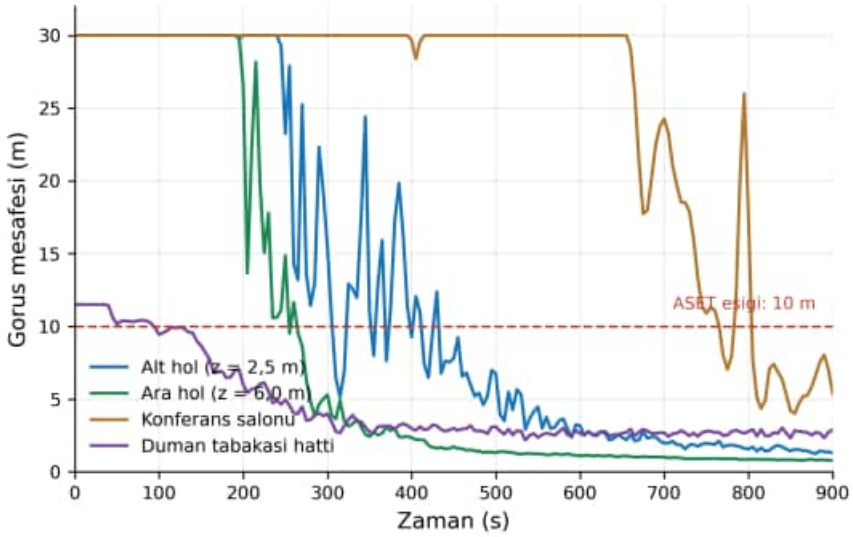
Bu senaryoda hiçbir ölçüm noktasında 60 °C sıcaklık eşiği aşılmamıştır; kaydedilen en yüksek değer üst kat kuzeyde 47,6 °C'dir. ASET tamamen görüş kriteriyle belirlenmektedir. Atriumun duman taşıma işlevi, tepe sıcaklıkların kotla birlikte düzenli olarak artmasından açıkça görülmektedir (Tablo 14): yangın ara katta başlamasına karşın en yüksek sıcaklık üst kat kotunda ölçülmüştür.

Tablo 14. S3 — atrium taşıma etkisi (tepe sıcaklıklar)

Kat	Ölçüm kotu	Tepe sıcaklık
Alt hol	2,5 m	21,1 °C
Ara hol	6,0 m	34,5 °C
Üst hol	9,5 m	42,9 °C



Şekil 9. Dumanın atriuma dökülmesi ve katlar arası taşınması: (a) 150 s, (b) 310 s



Şekil 10. Kat bazında görüş mesafesinin zamanla değişimi (S1a)

4.4. ASET Özeti

Dört senaryonun ortak bulgusu, dayanılabilirlik sınırının sıcaklık değil görüş mesafesi tarafından belirlenmesidir. Sıcaklık kriteri yalnızca 5 MW senaryosunda ve yalnızca üst kotlarda devreye girmiştir. Kullanıcılar, sıcaklık tehlikeli hâle gelmeden çok önce yönelim yeteneğini kaybetmektedir. Değerlendirmede esas alınan ASET referansları Tablo 15'te toplanmıştır.

Tablo 15. ASET referans değerleri

Konum	ASET	Senaryo	Belirleyici kriter
Mutfak	75 s	S2	görüş
Restoran	160 s	S2	görüş
Alt hol kuzey	**195 s**	**S3**	**görüş**
Alt hol	**235 s**	**S1b**	**görüş**
Ara hol kuzey	310 s	S3	görüş
Üst hol	320 s	S1b	sıcaklık (60 °C)
Konferans salonu	595 s	S1b	görüş

5. BULGULAR — MONİTÖR TİPİ SÖNDÜRME SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Monitör tipi sistemler, alev veya ısı kaynağını optik/kızılötesi algılama ile konumlandırdıktan sonra su jetini bu konuma yönlendirir. Sistemin çalışabilmesi için algılama başlığı ile yangın kaynağı arasındaki hattın duman tarafından kapatılmamış olması gerekir. Bu koşulun sağlandığı süreyi belirlemek amacıyla, başlığın önerilen konumu (X = 6,0 m; Y = 32,0 m; Z = 10,5 m) ile yangın kaynağı arasındaki optik yol boyunca beş ölçüm noktası tanımlanmış ve görüşün 10 m altına inme zamanları izlenmiştir (Tablo 16). Başlığın yangın merkezine yatay uzaklığı 10 m, eğik uzaklığı ≈ 15 m'dir.

Tablo 16. Monitör optik hedefleme hattı — görüşün 10 m altına inme zamanı

Ölçüm noktası	Konum X / Y / Z (m)	2,5 MW	5,0 MW
monitor_hat_5 (yangına en yakın)	15,5 / 31,0 / 7,0	45 s	35 s
monitor_hat_4	14,0 / 31,2 / 8,2	100 s	90 s
Başlık konumu	6,0 / 32,0 / 10,5	120 s	95 s
monitor_hat_1	8,0 / 31,8 / 10,0	140 s	95 s
monitor_hat_3	12,0 / 31,4 / 8,8	160 s	135 s
monitor_hat_2 (tam körleşme)	**10,0 / 31,6 / 9,4**	**170 s**	**135 s**

Hattın tamamen körleştiği an, 2,5 MW senaryosunda 170 s, 5,0 MW senaryosunda 135 s'dir. Bu anlarda yangının ulaştığı ısıl güç sırasıyla yaklaşık 1.300 ve 1.640 kW'tır. Güç iki katına çıktığında hedefleme penceresi %21 kısalırken, pencere sonunda müdahale edilmesi gereken güç %26 artmaktadır (Tablo 17). Sistem tasarımı, dolayısıyla en olumsuz senaryoya göre yapılmalıdır.

Tablo 17. Optik hedefleme penceresi ve pencere sonundaki yangın gücü

Senaryo	Hedefleme penceresi	Pencere sonunda HRR
2,5 MW	170 s	≈ 1.300 kW
5,0 MW	135 s	≈ 1.640 kW
Değişim	**–%21**	**+%26**

Bu sonuç, Bölüm 2.3'te aktarılan literatür bulgularıyla birlikte anlam kazanmaktadır. Aynı tavan yüksekliği mertebesinde klasik bir yağmurlama başlığının ancak 7–8 MW civarında aktive olacağı [33] dikkate alındığında, monitör sisteminin 1.300–1.640 kW mertebesinde müdahale edebiliyor olması dört ilâ beş kat daha erken bir müdahale anlamına gelmektedir. Bu, su topu sistemlerinin büyük açık hacimlerde yağmurlamaya göre çok daha hızlı tepki verdiğine ilişkin deneysel bulgularla [31] tutarlıdır. Ancak burada elde edilen sonuç, söz konusu avantajın koşulsuz olmadığını göstermektedir: avantaj yalnızca optik izleme koşulunun sağlandığı süre boyunca geçerlidir.

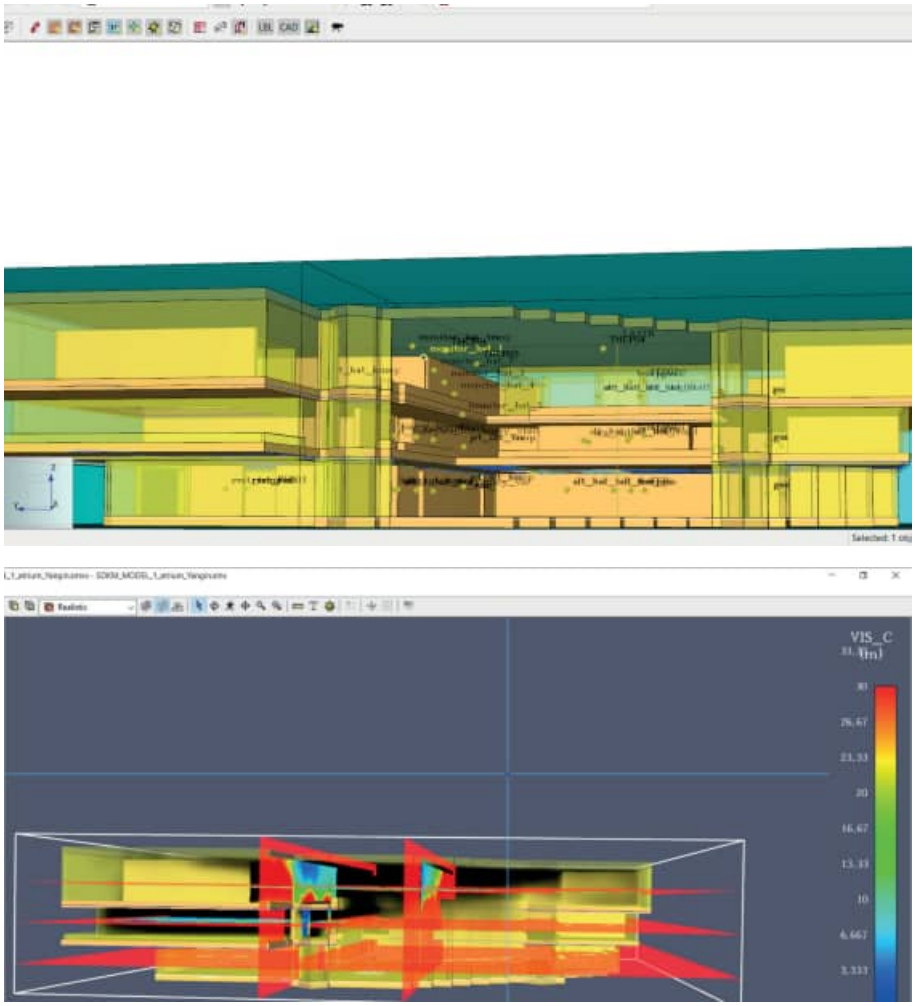
Sistemin uygulanabilirliğini sınırlayan iki ek koşul daha belirlenmiştir. Birincisi başlığın termal maruziyetidir: 5 MW senaryosunda başlık konumundaki sıcaklık 230. saniyede 60 °C'yi aşmakta ve 102,6 °C tepe değerine ulaşmaktadır (Tablo 18). Optik bileşen ve servo mekanizma için asgari dayanım kriteri bu nedenle ≥ 100 °C olmalıdır. İkincisi su jeti güzergâhındaki koşullardır: yangın üzerindeki düzlemlerde sıcaklık z = 2,5 m'de 431,7 °C'ye ulaşmakta olup (Tablo 19), damlacık buharlaşması ve jetin nüfuz kabiliyeti ayrıca değerlendirilmelidir.

Tablo 18. Monitör başlığının termal maruziyeti

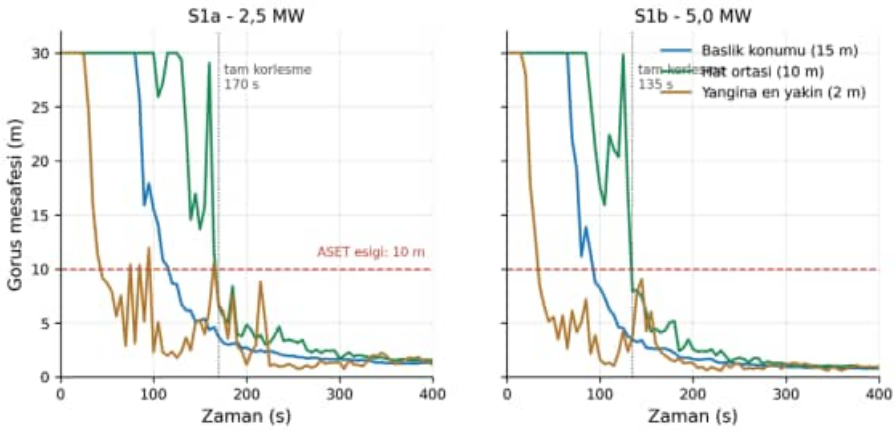
Senaryo	60 °C aşımı	Tepe sıcaklık
2,5 MW	355 s	≈ 70 °C
5,0 MW	230 s	102,6 °C

Tablo 19. Su jeti güzergâhı koşulları (yangın üstü, S1b)

Kot	Görüş < 10 m	60 °C aşımı	Tepe sıcaklık
z = 5,0 m	20 s	60 s	212,8 °C
z = 2,5 m	20 s	35 s	431,7 °C



Şekil 11. (a) Monitör başlığı ve optik hat ölçüm noktalarının yerleşimi, (b) görüş mesafesi kesitinde hattın kapanması



Şekil 12. Monitör optik hattı boyunca görüş mesafesinin zamanla değişimi

Genel sonuç olarak monitör tipi sistem bu hacim için uygulanabilirdir; ancak yalnızca optik hedeflemeye dayanan bir tetikleme mantığı yetersizdir. Sistem, bağımsız bir erken algılama zinciri (ışın tipi veya aspirasyonlu algılama) tarafından tetiklenmeli, ön ayarlı sabit hedefleme konumlarıyla ya da termal görüntüleme ile desteklenmelidir. Sistemin performansı, söndürme ünitesinin kendisinden çok kendisini besleyen algılama zincirinin hızına bağlıdır.

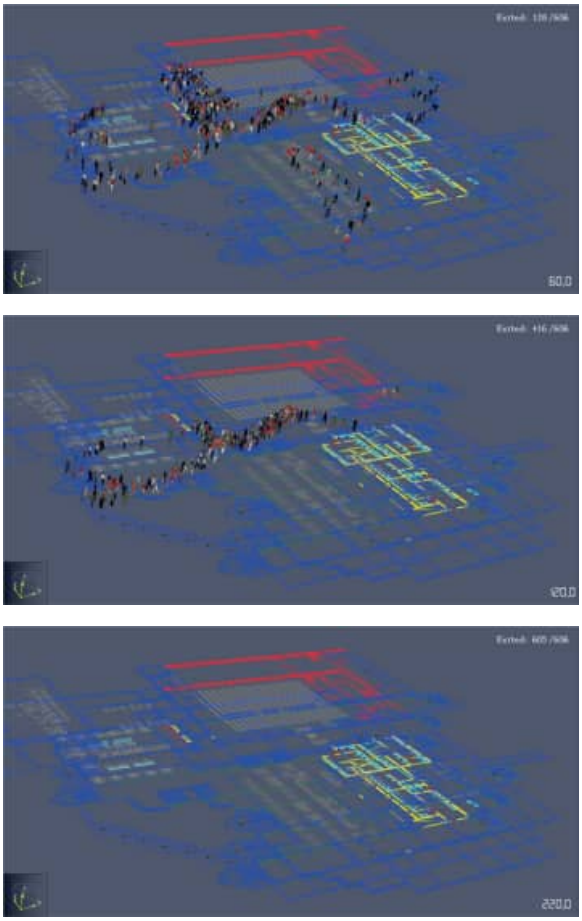
6. BULGULAR — TAHLİYE VE RSET

6.1. Tahliye Süreleri

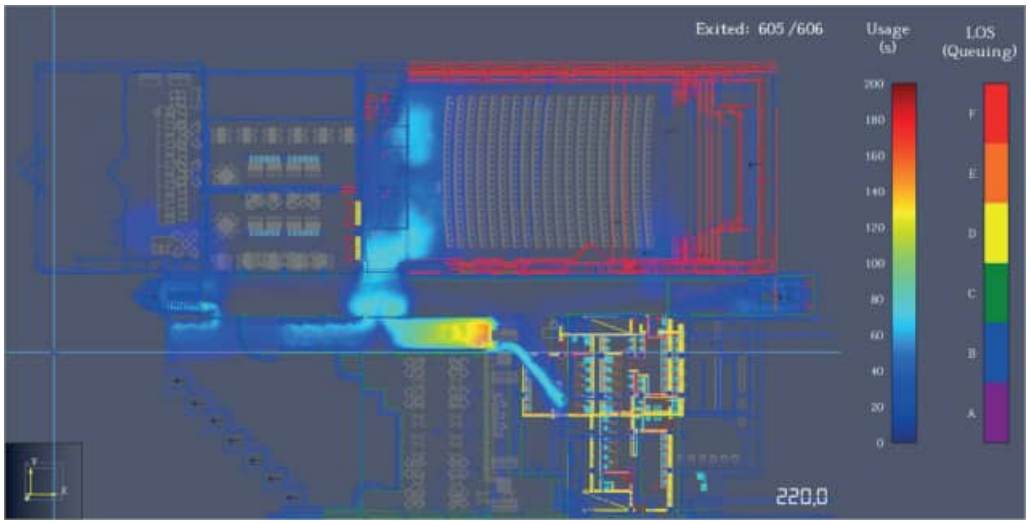
Üç tahliye senaryosunun sonuçları Tablo 20'de verilmiştir. Tüm kaçış yolları kullanılabilir kabul edildiğinde (Senaryo A) 606 kullanıcının tahliyesi 220,7 s sürmektedir. Atriuma açık iki merdivenin kaybı süreyi 279,6 s'ye, sahne önü çıkışının da kaybı 596,8 s'ye çıkarmaktadır. Kaçış yollarının kademeli kaybı, tahliye süresini 2,7 kat artırmaktadır.

Tablo 20. Tahliye süreleri (yürüme; hazırlık süresi hariç)

Metrik	Senaryo A	Senaryo B	Senaryo C
Tam tahliye (RSET_yürüme)	**220,7 s**	**279,6 s**	**596,8 s**
Ortalama	98,8 s	140,5 s	273,0 s
Medyan (%50 tahliye)	91,9 s	142,1 s	261,7 s
Standart sapma	46,8 s	70,7 s	177,9 s
%90 tahliye	157,4 s	241,6 s	529,1 s
%95 tahliye	190,1 s	254,9 s	—
Ortalama yürüme mesafesi	51,0 m	65,4 m	76,6 m
En uzun yürüme mesafesi	84,1 m	101,6 m	119,9 m



Şekil 13. Senaryo A tahliye süreci: (a) 60 s, (b) 120 s, (c) 220 s



Şekil 14. Senaryo A — birikimli kullanım (Usage[Accumulated]) haritası ve darboğazlar

6.2. Darboğazlar ve Kuyruk Analizi

Süreyi belirleyen büyüklük yürüme mesafesi değil, kapasitedir. Senaryo A'da ortalama kuyruk süresi 40,2 s, en kötü durumdaki kullanıcı için ise 186,8 s'dir; yani 220,7 s'lik tahliye süresinin 186,8 saniyesi kuyrukta geçmektedir. Merdiven üzerindeki kuyruk süresi ortalama 12,8 s, en fazla 110,2 s'dir. Senaryolara göre kritik elemanlar Tablo 21'de verilmiştir. Senaryo C'de tüm tahliye, 1,04 m kol genişliğindeki tek bir merdivene indirgenmekte ve 494 kişi bu elemandan geçmektedir.

Tablo 21. Kritik kaçış elemanları ve akış değerleri

Senaryo	Kritik eleman	Kullanan	Akış	Son çıkış
A	Üst kat holü çıkışı (1,50 m)	192 kişi	0,96 kişi/s	220,7 s
A	Anıtsal merdiven üst kol (2,70 m)	173 kişi	—	211,7 s
B	Üst kat kuzey çıkışı (doğu merd.)	214 kişi	0,88 kişi/s	279,6 s
B	K1 sahne önü (1,94 m)	408 kişi	1,92 kişi/s	215,9 s
C	**Doğu merdiveni (1,04 m kol)**	**494 kişi**	**0,88 kişi/s**	**596,8 s**

Salon içi güzergâh dağılımı, senaryolar arasındaki farkın kaynağını göstermektedir (Tablo 22). Senaryo A'da 476 salon kullanıcısının 376'sı arka sahanlıktan K3/K4 üzerinden +4,00 kotuna yönelirken, atriuma açık merdivenlerin kaybedildiği Senaryo B'de 408 kişi sahne önündeki K1 kapısına yığılmaktadır. Senaryo C'de K1 de kaybedildiğinde tüm salon tek bir yöne, arka sahanlığa yönelmektedir.

Tablo 22. Salon içi güzergâh dağılımı (476 kişi)

Güzergâh	Senaryo A	Senaryo B	Senaryo C
Rampa → arka sahanlık → K3/K4 (+4,00)	376	68	476
Rampa → sahne önü → K1 (+0,50)	100	408	0

6.3. Tahliye Yönü

Arazi eğimli olduğu için üst kat da zemin kotunda çıkış vermektedir. Bu durum, tahliye yönü açısından atriumlu binalara özgü bir sonuç doğurmaktadır (Tablo 23): Senaryo A'da dahi kullanıcıların %46'sı atrium boyunca yukarı doğru, yani duman kolonunun yükseldiği yönde hareket etmektedir. Senaryo C'de bu oran %98'e çıkmaktadır. Tahliye yönü ile duman hareket yönünün çakışması, ASET ve RSET'in birbirinden bağımsız iki büyüklük olarak değil, aynı hacimde etkileşen iki büyüklük olarak ele alınmasını gerektirmektedir.

Tablo 23. Çıkış kotu dağılımı

Çıkış kotu	Senaryo A	Senaryo B	Senaryo C
Zemin (+0,50) çıkışları	328 kişi (%54)	292 kişi (%48)	12 kişi (%2)
Üst kat (+7,50) çıkışları	278 kişi (%46)	314 kişi (%52)	594 kişi (%98)

7. ASET – RSET DEĞERLENDİRMESİ

Gerekli kaçış süresi, algılama, alarm, hazırlık ve yürüme sürelerinin toplamıdır. Bileşenler ve dayanakları Tablo 24'te verilmiştir. Algılama süresi, atrium yüksekliği ve kaset tavan nedeniyle nokta tipi algılayıcının uygulanamaz olması dikkate alınarak 60–90 s aralığında kabul edilmiştir.

Tablo 24. RSET bileşenleri

Bileşen	Aralık	Nominal	Dayanak
Algılama	60 – 90 s	60 s	Atrium yüksekliği; kaset tavan nedeniyle gecikmeli algılama
Alarm gecikmesi	30 – 60 s	30 s	Bina yangın alarm senaryosu
Hazırlık (pre-movement)	60 – 180 s	120 s	PD 7974-6, toplanma amaçlı yapı
Yürüme	—	220,7 / 279,6 / 596,8 s	Pathfinder (Senaryo A / B / C)

Elde edilen RSET değerleri, ortak alanlar için belirleyici olan 195 s'lik ASET değeriyle karşılaştırıldığında, her üç senaryoda da ASET > RSET koşulunun sağlanamadığı görülmektedir (Tablo 25, Şekil 16). Nominal kabullerle aşım Senaryo A'da 2,2 kat, Senaryo C'de 4,1 kattır. En iyimser kabulle (algılama 60 s, alarm 30 s, hazırlık 60 s) dahi Senaryo A'da RSET 371 s olup ASET'in 1,9 katıdır. Emniyet payı bir yana, koşulun kendisi doğrudan sağlanamamaktadır.

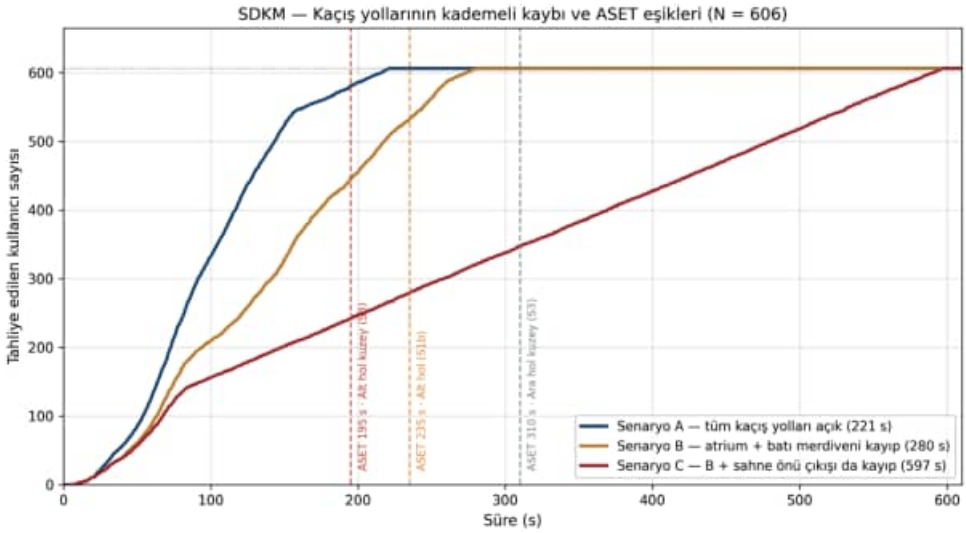
Tablo 25. ASET – RSET karşılaştırması

Senaryo	RSET aralığı	RSET nominal	ASET	Aşım (nominal)	Sonuç
A	371 – 491 s	431 s	195 s	2,2 ×	Sağlanmıyor
B	430 – 550 s	490 s	195 s	2,5 ×	Sağlanmıyor
C	747 – 867 s	807 s	195 s	4,1 ×	Sağlanmıyor

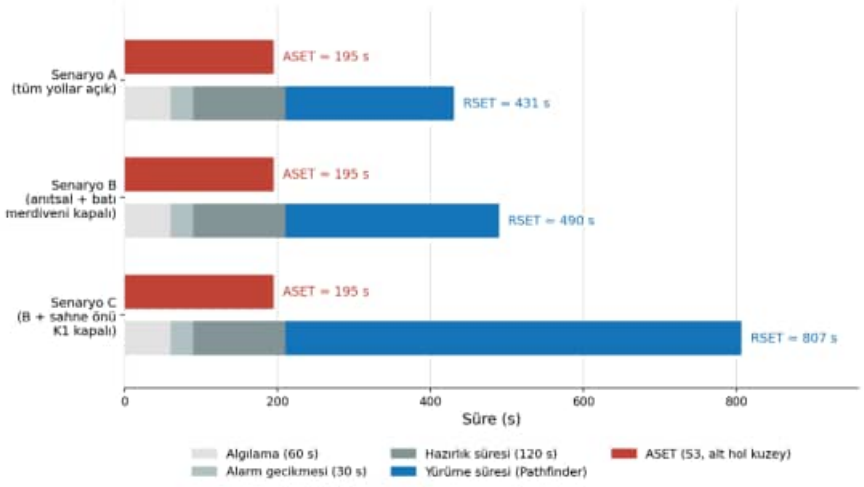
Değerlendirmenin tersten yapılması, sonucun ağırlığını daha somut biçimde ortaya koymaktadır. Hazırlık süresi sıfır kabul edilse dahi, ASET eşiğine ulaşıldığı anda binada kalan kullanıcı sayısı Tablo 26'da verilmiştir. Senaryo A'da alt hol kuzeyin ASET'ine (195 s) ulaşıldığında binada 25 kişi kalmaktadır; Senaryo C'de bu sayı 364 kişiye, yani toplam kullanıcı yükünün %60'ına çıkmaktadır.

Tablo 26. ASET eşiğine ulaşıldığında binada kalan kullanıcı sayısı (hazırlık süresi = 0)

ASET eşiği	Konum / senaryo	A	B	C
195 s	Alt hol kuzey (S3)	25 (%4)	160 (%26)	364 (%60)
235 s	Alt hol (S1b)	0	74 (%12)	327 (%54)
310 s	Ara hol kuzey (S3)	0	0	259 (%43)



Şekil 15. Kaçış yollarının kademeli kaybı ve ASET eşikleri



Şekil 16. Senaryolara göre ASET ve RSET değerlerinin karşılaştırılması

8. TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar, binanın kurallara dayalı ölçütlerin bir kısmını sağlıyor görünmesine karşın performansa dayalı değerlendirmede can güvenliği hedefini karşılamadığını göstermektedir. Bu uyuşmazlığın dört ana kaynağı belirlenmiştir.

Birincisi, dayanılabilirlik ölçütünün seçimidir. Dört senaryoda da ASET görüş kriteriyle belirlenmiş; S3'te sıcaklık eşiği hiç aşılmamıştır. Sıcaklık esaslı algılama ve tepki mantığı bu bina tipinde geç kalmaktadır. Kullanıcılar, ısıl tehlike oluşmadan çok önce yönelim yeteneğini kaybetmektedir.

İkincisi, kat bazlı bölümlendirme mantığının geçersizleşmesidir. S3'te yangın ara katta başlamasına karşın en yüksek sıcaklık üst kat kotunda ölçülmüştür (21,1 → 42,9 °C). Atrium, kaynak katından bağımsız olarak tüm kotları aynı duman hacmine bağlamaktadır.

Üçüncüsü, çıkış bağımsızlığı ile çıkış sayısının aynı şey olmamasıdır. Salonun iki çıkışı aynı hole, o hol de tek bir 3,20 m açıklığa bağlanmaktadır. Üç düşey iniş yolunun üçü de aynı duman hacmiyle ilişkilidir. Kurallara dayalı kontrol çıkış sayısını ve genişliğini doğrulamakta, ancak bu çıkışların eşzamanlı kaybedilebileceğini görmemektedir. Senaryo B ve C'nin varlık nedeni tam olarak budur: kaçış yollarının kademeli kaybı modellendiğinde tahliye süresi 2,7 kat artmakta, ASET aşıldığında binada kalan kullanıcı oranı %4'ten %60'a çıkmaktadır.

Dördüncüsü, atriumdaki aktif söndürme boşluğudur. Kaset tavan geometrisi klasik çözümleri geometrik olarak ve mekânın mimari niteliğinin korunması gereği nedeniyle, yüksek tavan yüksekliği ise zamansal olarak dışlamaktadır. Monitör tipi sistem uygulanabilir tek seçenek olarak öne çıkmakla birlikte, Bölüm 5'teki analiz onun da dar bir zaman penceresiyle sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu iki bulgu birbirine bağlıdır: atriumdaki yangın erken bastırılamazsa kaçış kapasitesinin büyük bölümü kaybedilmekte ve tahliye tek bir 1,04 m'lik merdiven koluna indirgenmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda önerilen iyileştirmeler şunlardır: (i) atriumda ışın tipi veya aspirasyonlu erken algılama kurulması ve monitör sisteminin bu zincirle tetiklenmesi; (ii) doğu kaçış merdiveni kovasına yangın kapısı takılması — yönetmelik gereği korunumlu olması gereken tek merdivenin mevcut hâliyle duman sızıntısına açık olması, somut ve düşük maliyetli bir iyileştirme fırsatıdır; (iii) örülerek kapatılmış H1 ve H2 çıkışlarının yeniden kullanıma açılarak Giriş Holü'ndeki tekil darboğazın kaldırılması; (iv) çıkmaz terasa açılan kapının ya güvenli bir güzergâha bağlanması ya da kaçış işaretlemesinden çıkarılması; (v) atriumda mekanik duman tahliyesi ile duman tabakası yüksekliğinin kaçış süresi boyunca korunması. Bu önlemlerin bileşik etkisinin sayısal olarak doğrulanması çalışmanın devamında ele alınacaktır.

9. SINIRLILIKLAR

Çalışmanın sınırlılıkları aşağıda açıkça beyan edilmektedir.

– Ağ çözünürlüğü $D^*/\delta x = 2,3$ olup literatürde önerilen ≥ 4 değerinin altındadır. Sonuçlar niteliksel eğilimler ve senaryolar arası göreli karşılaştırmalar açısından değerlendirilmelidir.

– Kaset geometrisi imalat çizimleri temin edilemediğinden fotoğraflardan ölçeklendirilmiştir ve FDS modeline dahil edilmemiştir. Kasete ilişkin argüman akış dinamiği üzerinden değil, montaj uygulanabilirliği üzerinden kurulmuştur.

– Cam cephe kapalı ve kırılmasız modellenmiştir. Bu, dumanın bina içinde kalması yönünde muhafazakâr bir kabuldür.

– İs verimi 0,10 alınmıştır. ASET değerleri görüş kriteriyle belirlendiğinden bu parametre sonuçları doğrudan etkilemektedir; duyarlılık analizi yapılmamıştır.

– Söndürme sistemi modellenmemiştir. Monitör değerlendirmesi, FDS'ten elde edilen görüş ve sıcaklık verileri üzerinden analitik olarak yapılmıştır.

– Havalandırma ve duman tahliye sistemleri modele dahil edilmemiştir.

– Tahliye modelinde seyirci platformu düz rampa olarak, koltuklar ise engel olmadan modellenmiştir; sıradan çıkma süresi hazırlık süresine dahil edilmiştir. Darboğaz kapılardır, koltuk aralıkları değildir.

– Doğu merdiveninin dönel (winder) geometrisi düzleştirilmiş; genişlik (1,04 m) ve kot farkı (3,50 m) korunmuştur. Akış kuyruk sınırlı olduğundan açınım farkının etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

– Hazırlık süresi dağılımı uygulanmamış, RSET'e topluca eklenmiştir.

– Sahne kullanıcıları ve K2 sahne arkası çıkışı modellenmemiştir.

10. SONUÇ

Mevcut bir üniversite kültür merkezi için FDS tabanlı CFD analizleri ile Pathfinder tabanlı tahliye modellemesi birlikte kullanılarak performansa dayalı bir yangın güvenliği değerlendirmesi yapılmıştır. Başlıca sonuçlar şunlardır:

– Dört senaryoda da dayanılabilirlik sınırını belirleyen büyüklük görüş mesafesi olmuştur. Ara kat koridoru yangınında hiçbir noktada 60 °C aşılmamıştır (maksimum 47,6 °C). Yalnızca sıcaklık esaslı değerlendirme bu bina tipinde güvenli tarafta kalmamaktadır.

– Ortak alanlar için en kritik ASET değeri 195 s (alt hol kuzey, S3), alt hol için referans aralık 195–235 s'dir.

– Tüm kaçış yolları kullanılabilir kabul edildiğinde yürüme süresi tek başına 220,7 s ile bu değeri aşmaktadır. Algılama, alarm ve hazırlık süreleri eklendiğinde RSET 340–490 s'ye ulaşmakta ve ASET'i en iyimser durumda 1,9 kat aşmaktadır.

– Kaçış yolları kademeli olarak kaybedildiğinde tahliye süresi 220,7 s'den 596,8 s'ye, yani 2,7 kat artmakta; ASET aşıldığında binada kalan kullanıcı oranı %4'ten %60'a çıkmaktadır.

– Kullanıcıların %46'sı, en iyimser senaryoda dahi atrium boyunca yukarı doğru — duman kolonunun yükseldiği yönde — tahliye olmaktadır. Senaryo C'de bu oran %98'dir.

– Çıkışlar sayısal olarak yeterli, fonksiyonel olarak bağımlıdır. Salonun iki çıkışı aynı hole, o hol de tek bir 3,20 m açıklığa bağlanmakta; üç düşey iniş yolunun üçü de aynı duman hacmiyle ilişkili bulunmaktadır.

– Atrium kaset tavanı, nokta tipi algılayıcı ve klasik yağmurlama yerleşimini geometrik olarak ve mekânın mimari niteliğinin korunması gereği nedeniyle; 11,5 m tavan yüksekliği ise aktivasyon gecikmesi nedeniyle zamansal olarak dışlamaktadır. Monitör tipi sistem uygulanabilir bir alternatiftir; ancak optik hedefleme penceresi 2,5 MW'ta 170 s, 5,0 MW'ta 135 s ile sınırlıdır ve pencere kapandığında yangın 1,3–1,6 MW seviyesindedir.

Genel değerlendirme olarak, kurallara dayalı kontrolün doğruladığı bir tasarımın performansa dayalı analizde karşılanamayan bir can güvenliği açığı barındırabildiği gösterilmiştir. Atriumlu toplanma yapılarında kaçış yolu kapasitesinin, kaçış yollarının kademeli kaybı senaryoları altında sınanması önerilmektedir.

11. KAYNAKLAR

[1] BS 7974, "Application of Fire Safety Engineering Principles to the Design of Buildings – Code of Practice", British Standards Institution, 2019

[2] PD 7974-6, "The Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety Design of Buildings – Part 6: Human Factors: Life Safety Strategies – Occupant Evacuation, Behaviour and Condition", British Standards Institution, 2019

[3] SFPE, "Handbook of Fire Protection Engineering", Society of Fire Protection Engineers, 5. Baskı, Springer, 2016

[4] ISO/TR 16738, "Fire-Safety Engineering – Technical Information on Methods for Evaluating Behaviour and Movement of People", International Organization for Standardization, 2009

[5] HURLEY, M.J., ROSENBAUM, E.R., "Performance-Based Fire Safety Design", CRC Press, 2015

[6] SATIR, M.S., TOPRAKLI, A.Y., "Türkiye yangın yönetmeliğine göre toplanma amaçlı yapıların tahliye performansının simülasyon tabanlı analiz edilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 39, s. 2343–2352, 2024

[7] KADI, F., COŞKUN, G., BÜYÜKKAYA, E., "Tahliye Sırasında Yangın Dumanından Etkilenme Oranlarının Simülasyon Destekli İncelenmesi: Bir Hastane Modeli", Uluslararası Yakıtlar, Yanma ve Yangın Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, s. 103–117, 2022

[8] ULUÇ, K., COŞKUN, G., BÜYÜKKAYA, E., "Alışveriş Merkezlerinde Yangın Anında Tahliye Olanaklarının Bilgisayar Destekli Simülasyon Programları ile Performans Bazlı Değerlendirilmesi", Uluslararası Yakıtlar, Yanma ve Yangın Dergisi, 2022

[9] ÇETİN, S., BEYHAN, F., "Yangın gelişimi – duman yayılımı ilişkisi üzerine performans analizlerine dayalı bir model", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2022

[10] YILDIZ, M.A., BEYHAN, F., "Yeşil bina tasarımlarındaki düşey iç boşlukların duman tahliyesi açısından değerlendirilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2024

[11] GUTIÉRREZ-MONTES, C., SANMIGUEL-ROJAS, E., KAISER, A.S., VIEDMA, A., "Numerical Model and Validation Experiments of Atrium Enclosure Fire in a New Fire Test Facility", Building and Environment, 2008

[12] GUTIÉRREZ-MONTES, C. vd., "Influence of Different Make-Up Air Configurations on the Fire-Induced Conditions in an Atrium", Building and Environment, 2010

[13] CALIENDO, C., CIAMBELLI, P., DEL REGNO, R., MEO, M.G., RUSSO, P., "Modelling and Numerical Simulation of Pedestrian Flow Evacuation from a Multi-Storey Historical Building in the Event of Fire Applying Safety Engineering Tools", Journal of Cultural Heritage, Cilt 41, s. 188–199, 2020

[14] JIN, H., ZHANG, Y., MIAO, C., ZHANG, X., ZHANG, J., JI, M., JIA, Q., LU, J., "Study on BIM-Based Simulation of Fire Emergency Evacuation in College Library", Case Studies in Thermal Engineering, 2025

[15] TIAN, D., WU, X., YAO, J., QU, W., YANG, K., SHI, J., WANG, J., "Study on Personnel Movement and Evacuation Time in Large Shopping Mall Fires", Case Studies in Thermal Engineering, 2025

[16] JIANG, Y., LIU, G., DU, Y., CAI, S., SI, Z., HE, J., ZHOU, X., "Analysis and Optimization of Fire Evacuation Safety Performance in Large Urban Complexes", PLOS One, 2025

[17] McGRATTAN, K., HOSTIKKA, S., McDERMOTT, R., FLOYD, J., WEINSCHENK, C., OVERHOLT, K., "Fire Dynamics Simulator User's Guide", NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology

[18] McGRATTAN, K. vd., "Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide, Volume 3: Validation", NIST Special Publication 1018-3, National Institute of Standards and Technology

[19] Thunderhead Engineering, "PyroSim User Manual", Thunderhead Engineering Consultants Inc.

[20] Thunderhead Engineering, "Pathfinder Technical Reference Manual", Thunderhead Engineering Consultants Inc.

[21] JIN, T., "Visibility and Human Behavior in Fire Smoke", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering içinde, Springer

[22] PURSER, D.A., McALLISTER, J.L., "Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases and Heat", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering içinde, Springer

[23] KULIGOWSKI, E.D., "Predicting Human Behavior During Fires", Fire Technology, Cilt 49, 2013

[24] NFPA 92, “Standard for Smoke Control Systems”, National Fire Protection Association

[25] NFPA 101, “Life Safety Code”, National Fire Protection Association

[26] KLOTE, J.H., MILKE, J.A., TURNBULL, P.G., KASHEF, A., FERREIRA, M.J., “Handbook of Smoke Control Engineering”, ASHRAE, 2012

[27] NFPA 13, “Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, National Fire Protection Association

[28] NFPA 15, “Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection”, National Fire Protection Association

[29] GB 50338, “Code of Design for Fixed Fire Monitor Extinguishing Systems”, Çin Halk Cumhuriyeti Ulusal Standardı, 2003

[30] CHEN, T., YUAN, H., SU, G. vd., “An Automatic Fire Searching and Suppression System for Large Spaces”, Fire Safety Journal, Cilt 39, s. 297–307, 2004

[31] XIN, Y., THUMULURU, S., JIANG, F., YIN, R., YAO, B., ZHANG, K., LIU, B., “An Experimental Study of Automatic Water Cannon Systems for Fire Protection of Large Open Spaces”, Fire Technology, Cilt 50, Sayı 2, s. 233–248, 2014

[32] XIN, Y. vd., “Evaluation of Automatic Water Cannon for Fire Protection of Low-Piled Storage in High-Clearance Facilities”, Fire Safety Journal, 2020

[33] KUNG, H.C., SONG, B., LI, Y. vd., “Sprinkler Protection of Non-Storage Occupancies with High Ceiling Clearance”, Fire Safety Journal, Cilt 54, s. 49–56, 2012

[34] NAM, S., BRAGA, A., KUNG, H.-C. vd., “Fire Protection for Non-Storage Occupancies with High Ceiling Clearance”, Proceedings of the 7th International Symposium on Fire Safety Science, IAFSS, s. 493–504, 2002

[35] T.C. Resmî Gazete, “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”, 2007 (ve değişiklikleri)

[36] YEOH, G.H., YUEN, K.K., “Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering”, Butterworth-Heinemann, 2009

12. KISA ÖZGEÇMİŞ

İsmail Hilmi KESKİN

1987 yılında Afyonkarahisar’da doğdu. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’nda makine mühendisi olarak görev yaptı ve üç yıl süreyle daire başkanlığı görevini yürüttü. Bu dönemde İTÜ’ye ait yurt binalarının eksik yangın güvenliği önlemlerine ilişkin projeleri hazırladı, ihale ve yapım süreçlerini yürüttü. Hâlen aynı başkanlıkta makine mühendisi olarak çalışmakta ve Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yangın güvenliği alanında tezli yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Hakan Serhad SOYHAN

Prof. Dr. Hakan Serhad Soyhan, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. Lisans ve doktora eğitimlerini İTÜ’de tamamlamıştır. Doktora sonrası araştırmalarını Lund Üniversitesi ve Shell Global Solutions bünyesinde yürütmüştür. Yanma Enstitüsü Türkiye Bölümü Başkanı olan Soyhan; yanma teknolojileri, enerji, otomotiv ve yangın güvenliği alanlarında uzmandır. Uluslararası düzeyde çok sayıda projesi ve 2.000’den fazla akademik atfı bulunmaktadır.

YANGINDAN KORUNMADA ULUSAL EĞİTİM VE SERTİFİKASYON MODELİ: YANGINDAN KORUNMA EL KİTABI, EĞİTİM PROGRAMI VE SERTİFİKASYON SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

İsmail Turanlı,
Makina Mühendisi,
SMM, CFPS

Özet

Türkiye'de son yıllarda meydana gelen katastrofik yapı yangınları ; özellikle Beşiktaş Gayrettepe gece kulübü ve Kartalkaya Grand Kartal otel faciaları yapı stoğundaki kritik zafiyetleri tüm çıplaklığıyla gözler önüne sermiştir. Ülkemizde yangın güvenliğine dair standart ve yönetmeliklerde temel bir eksiklik bulunmamasına rağmen, yaşanan ağır can kayıpları ile karmaşık adli ve cezai süreçlerin temelinde; sahadaki profesyonellerin yetkinlik eksiklikleri ve yangın biliminin temel prensiplerine (fundamental) tam hâkim olunamaması yatmaktadır. Bu sorunların sistematik biçimde çözülebilmesi amacıyla TMMOB Makina Mühendisleri Odası Ankara Şubesi bünyesinde makina, elektrik-elektronik, inşaat mühendisliği ve mimarlık disiplinlerinden 30'u aşkın uzmanın katılımıyla disiplinler arası bir komisyon kurulmuştur. Bu bildiri; (1) NFPA 21. Baskı ve SFPE El Kitapları ile eşleştirilmiş, ulusal mevzuatımız ve EN standartları ile uyumlaştırılmış 22 modüllük yetkin bir Yangından Korunma El Kitabı, (2) tanımlı öğrenme hedeflerine dayalı uygulamalı Eğitim Programı ve (3) salt katılımı değil, analitik problem çözme ile mühendislik muhakemesini ölçen liyakat esaslı bir Sertifikasyon Sistemi olmak üzere birbirine bağlı üç temel sacayağı üzerine inşa edilen ulusal modelin çerçevesini sunmaktadır. Bildiride ayrıca modelin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın üçüncü taraf denetimini esas alan Yangın Güvenlik Uzmanlığı yönetmelik taslağı ile uyumu ve 2027 yılına uzanan aşamalı uygulama takvimi aktarılmaktadır. Nihai hedef; ortak bir teknik dil ve nesnel yetkinlik standardı oluşturarak önlenebilir can kayıplarının önüne geçmek ve yapılarımızın yangın güvenliği seviyesini yükseltmektir.

Anahtar Kelimeler: Yangın Korunum Mühendisliği, Mesleki Yetkinlik, Sertifikasyon Sistemi, Yangından Korunma El Kitabı, Can Güvenliği, Meslek Etiği, TMMOB, Üçüncü Taraf Denetim.

A NATIONAL EDUCATION AND CERTIFICATION MODEL IN FIRE PROTECTION: ESTABLISHMENT OF THE FIRE PROTECTION HANDBOOK, TRAINING PROGRAM, AND CERTIFICATION SYSTEM

İsmail Turanlı,
Mechanical Engineer,
SMM, CFPS

Abstract

Catastrophic structural fires in Turkey in recent years; most notably the Beşiktaş Gayrettepe nightclub and Kartalkaya Grand Kartal hotel disasters,have revealed a critical vulnerability in the built environment. Despite the existence of comprehensive national fire safety codes and standards, severe life losses and extensive legal/penal proceedings continue to emerge primarily from deficiencies in field engineering competencies and a lack of mastery over fundamental fire science principles. To systematically address these issues, the TMMOB Chamber of Mechanical Engineers Ankara Branch has established an interdisciplinary

commission comprising over thirty professionals across mechanical, electrical, civil engineering, and architecture disciplines. This paper presents the framework of a comprehensive national model structured upon three interdependent pillars: (1) an authoritative 22-module Fire Protection Handbook benchmarked against the NFPA 21st Edition and SFPE Handbooks and harmonized with Turkish regulations and EN standards; (2) a learning-outcome-driven, hands-on Training Program; and (3) a rigorous, merit-based Certification System evaluating analytical problem-solving and engineering judgment rather than mere attendance. Furthermore, the compatibility of this model with current legislative drafts, such as the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change's third-party fire safety inspection regulations, and the phased implementation timeline through 2027 are delineated. The ultimate objective is establishing a shared technical language and an objective competency benchmark to prevent avoidable casualties and elevate the nation's fire safety resilience.

Keywords: Fire Protection Engineering, Professional Competency, Certification System, Fire Protection Handbook, Life Safety, Engineering Ethics, NFPA, Third-Party Inspection.

1. GİRİŞ VE GEREKÇE: NEDEN BÖYLE BİR ÇALIŞMAYA İHTİYAÇ DUYDUK?

Türkiye'de son dönemde ardı ardına yaşadığımız ve hafızalarımıza kazınan facialar; özellikle Beşiktaş Gayrettepe'deki gece kulübü ve Kartalkaya'daki Grand Kartal otel yangınları, mesleğimizin ne denli kritik bir çizgide durduğunu en sarsıcı haliyle bizlere göstermiştir. Beşiktaş'ta basit güvenlik önlemlerinin dahi alınmaması sonucu 29 işçimizin yanarak can vermesi ve aradan geçen yıllara, uzayan duruşmalara rağmen ailelerin ağır ceza mahkemeleri kapılarında adalet arayışının sürmesi mesleki bir yaramızdır. Benzer şekilde, Kartalkaya'da 36'sı çocuk tam 78 vatandaşımızın hayatını kaybettiği, insanların can havliyle pencerelerden atlamak zorunda kaldığı otel yangını; sahte yangın denetim raporlarının, yetkinlikten uzak işletme ve mühendislik pratiklerinin ne kadar korkunç bedelleri olduğunu tüm çıplaklığıyla kanıtlamıştır. Bu olaylar, yalnızca katastrofik boyutlardaki can kayıplarıyla kalmamış; ardında otel sahiplerini, mühendisleri, itfaiye ve belediye denetçilerini müebbet hapis talepleriyle sanık sandalyesine oturtan, son derece karmaşık ve yıpratıcı hukuki süreçler bırakmıştır. Yaşanan bu facialar; standart ve yönetmeliklerimizde temel bir eksiklik olmamasına rağmen, sahada uygulamayı yürüten profesyonellerin yetkinlik sorunlarının, mesleğin temellerine (fundamental) tam hakim olmamaktan kaynaklanan hataların ne kadar ölümcül sonuçlar doğurabileceğini acı bir şekilde ispatlamıştır. Bugün Odamız bünyesinde yürüttüğümüz bu kapsamlı çalışmanın çıkış noktası ve aciliyeti tam olarak bu noktadan, bir daha benzer acıların ve hukuki enkazların yaşanmaması iradesinden doğmuştur.

Yangından korunma; termodinamiği, akışkanlar dinamiğini, ısı ve kütle transferini, yanma kimyasını, insan davranışını, yapısal davranışı ve risk analizini aynı karar sürecinde birleştiren disiplinler arası bir mühendislik alanıdır. Verdiğimiz kararların doğruluğu normal işletme koşullarında görünmemekte; çoğu zaman yalnızca gerçek bir yangın anında ortaya çıkmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki, bu kararların eksikliği yangın anında can alırken, yangın sonrasında ise mahkeme salonlarında ağır yasal bedeller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde, ortak bir müfredat, ortak bir teknik terminoloji ve ortak bir asgari yetkinlik tanımı bakımından ciddi boşluklar bulunmaktadır. Ortak bir teknik dil olmadığında aynı projede farklı beklentiler oluşmakta; bunun bedelini çoğu zaman uygulama aşamasında ödemekteyiz. Ülkemizde eksik ya da yanlış bilinen yangından korunma uygulamalarını önlemek için bir eğitim ve bu eğitime bağlı güvenebileceğimiz, her meslektaşımızın anlayacağı ve destek alabileceği, referans olabilecek bir el kitabı oluşturma amacındayız.

2. ÇALIŞMAYI KİMLER YÜRÜTÜYOR?

Bu çalışma bireysel bir girişim değil; Odamız bünyesinde kurumsal olarak yürütülen bir komisyon çalışmasıdır. Bugüne kadar on beş toplantı gerçekleştirilmiş, yirmi iki modül oluşturulmuş ve her modül için ayrı bir alt komisyon kurulmuştur. Otuzu aşkın meslektaşımız; makina, elektrik-elektronik, mimarlık ve inşaat disiplinlerinden katkı vermektedir. Makina Mühendisleri Odası başta olmak üzere Elektrik Mühendisleri Odası, Mimarlar Odası ve İnşaat Mühendisleri Odası ile ortak yaklaşım geliştirilmekte, ilerleme Modül Bazlı Komisyon Takip Tablosu üzerinden izlenmektedir.

3. MODELİN ÜÇ AYAĞI: EL KİTABI, EĞİTİM PROGRAMI VE SERTİFİKASYON

Geliştirdiğimiz ulusal model, birbirinden ayrılamaz üç temel ayak üzerine inşa edilmiştir:

El Kitabı: Ne öğretilecek? Eğitimin bilimsel omurgasını oluşturuyor.

Eğitim Programı: Nasıl öğretilecek? İçeriğin sınıfa ve sahaya nasıl taşınacağını tanımlıyor.

Sertifikasyon Sistemi: Nasıl ölçülecek? Kazanılan yetkinliğin gerçekten yeterli olup olmadığını belirleyecek.

Bu üçü birbirinden ayrılamaz; ölçülmeyen bir eğitim yetkinlik güvencesi veremez, müfredatı olmayan bir sınavda da neyin ölçüldüğü bilinemez.

3.1. Birinci Ayak: 22 Modülden Oluşan El Kitabı

Hazırlanan el kitabı; yangın dinamiği, risk analizi, malzemelerin yangın davranışı gibi temel mühendislik ilkelerinden başlayarak, aktif ve pasif korunma sistemlerine kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Özellikle yaşanan facialarının ardındaki yasal süreçler dikkate alınarak “Hukuki Sorumluluklar ve Meslek Etiği”, “Yangında İnsan Davranışı” ve “Bakım, Test ve Denetim” gibi hayati konular bütünleyici modüller olarak sisteme entegre edilmiştir.

Bu doğrultuda oluşturulan ve her biri için alt komisyon kurulan 22 modül sırasıyla şu şekildedir:

1. Yangın Bilimi ve Temel Yangın Mekaniği

2. Yangın Tehlike ve Risk Analizi

3. Malzemelerin Yangın Davranışı

4. Depolama ve Elleçleme Riskleri

5. Özel Ekipmanlar ve Isı Kaynakları

6. Endüstriyel Prosesler ve Tesisler

7. Bina Servisleri ve Yangın Önleme

8. Yangın Suyu ve Hidrolik Sistemler

9. Sulu Söndürme Sistemleri

10. Gazlı ve Özel Söndürme Sistemleri

11. Yangının Yapı İçinde Sınırlandırılması

12. Yapısal Yangın Güvenliği

13. Bina Türlerine Göre Yangın Güvenliği

14. Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri

15. Duman Kontrol, Tahliye ve Basınçlandırma

16. Yangın Mühendisliğinde Kullanılan Hesaplama Araçları

17. Hukuki Sorumluluklar ve Meslek Etiği

18. Yangında İnsan Davranışı

19. Yangın Korunum Mühendisliği Eğitim Esasları

20. Yangın Koruma Sistemlerinin Bakım, Test ve Denetimi

21. Acil Anons, Acil Aydınlatma ve İşaretleme Sistemleri

22. Yedekli Enerji ve Acil Güç Sistemleri

Her modül, alanında en yetkin kaynaklar olan NFPA Fire Protection Handbook (21. Baskı) ve SFPE Handbook ile bölüm bölüm eşleştirilmiştir. Bu kaynakları doğrudan Türkçe'ye çevirmiyor; içeriği, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, EN (Avrupa Normları) ve ulusal düzenlemelerimizle uyumlaştırarak özgün bir eğitim içeriğine dönüştürüyoruz. Yirmi iki modülün tamamı aynı standart yapıyı (öğrenme hedefleri, temel kavramlar, uygulama esasları) taşımaktadır.

3.2. İkinci Ayak: Eğitim Programı

Program, her modülün tanımlı öğrenme hedefleri üzerine kurulmaktadır. Masquerade ve Kartalkaya gibi vakalardaki uygulama hatalarının önüne geçebilmek adına, teoriyi uygulamayla birleştiren, örnek çözümler ve saha bilgisiyle desteklenen bir yapı hedeflenmektedir. Uygulama ağırlıklı modüllerin yüz yüze ve uygulamalı yürütülmesi esasına uyulurken, ortak anlatım standardı ve eğitmen kılavuzu üzerinde çalışmalar sürmektedir.

3.3. Üçüncü Ayak: Sertifikasyon ve Liyakat Esası

Bir sertifikanın değeri, üzerindeki kurum adından ya da eğitimin süresinden gelmez; ölçtüğü gerçek yetkinlikten ve onu hak etmenin gerektirdiği emekten gelir. Katılım Belgesi ile Yetkinlik Belgesi arasındaki farkı çalışmamızın merkezine yerleştirerek, belgeyi ölçülmüş yetkinliğin karşılığı olarak konumlandırıyoruz.

Sınav sistemimiz ezberi değil, mühendislik muhakemesini ölçmeyi hedeflemektedir. Değerlendirmenin analitik ve vaka çözümüne dayalı bölümler içermesini önemsiyoruz. Çünkü liyakatin ölçütü eğitimin süresi değil, üstlenilen sorumluluğun ve potansiyel hukuki riskin ağırlığıdır. Bir binanın yangın güvenliğine ilişkin görüş veren meslektaşımızın kararı, o binadaki insanların güvenliğini doğrudan etkiler. Liyakat, kimseyi dışarıda bırakmak için değil; emek verip gerçekten yetkinleşen meslektaşımızı, olası idari ve cezai yıkımlardan korumak içindir.

4. ÇALIŞMANIN ÜLKEMİZ İÇİN DEĞERİ VE ULUSAL DÜZENLEMELERLE UYUM

Bu çalışmayla tasarımcı, uygulamacı, işveren ve denetçinin aynı kavramları kullandığı ortak bir teknik dil oluşacak; belirsizlik ve ölümcül hatalar azalacaktır. Mühendis için emeğinin karşılığı olan bu sistem, işveren ve idare için nesnel bir ölçüt sağlayarak haksız rekabetin önüne geçecektir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığımızın «Yangın Güvenlik Uzmanlığı» yönetmelik taslağı, üçüncü taraf denetim yaklaşımını hayata geçirmesi bakımından olumlu bir adımdır ve Odamız bu yaklaşımı desteklemektedir. Bakanlığımızın kamusal gözetim rolü ile meslek odalarımızın mesleki yeterlilik birikimi bir araya geldiğinde, tek ve güçlü bir ulusal kalite zinciri ortaya çıkacaktır.

5. HEDEF PROGRAM VE SONUÇ

Belirlenen hedef programa göre;

31 Aralık 2026: Tüm komisyon ve modül taslaklarının tamamlanması.

26 Şubat 2027: Redakte edilmiş El Kitabı taslağının oluşturulması.

30 Mart 2027: Yangın El Kitabının yayımlanması.

30 Nisan 2027: Eğitim programının başlaması.

2027 Mayıs ve sonrası: Liyakat esaslı sertifikasyon sınavlarının hayata geçirilmesi planlanmaktadır.

Amacımız bir sertifika daha üretmek değil; ülkemiz için ortak, güvenilir ve liyakate dayalı bir yetkinlik standardı oluşturmak ve yangın konusunda her zaman kullanabileceğimiz güvenilir bir referans kitap yaratmaktır. Katastrofik yangınların kaderimiz olmaktan çıkması, ancak temel mühendislik bilgisine tam hakimiyet ve tavizsiz bir liyakatle mümkündür.

KISA ÖZGEÇMİŞ

İsmail Turanlı
(Makina Mühendisi, SMM, CFPS)

1990 yılında Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1989 yılından bu yana yangından korunma sektöründe birfiil mühendislik, tasarım ve taahhüt alanlarında faaliyet gösteren Turanlı kurucu ortağı olduğu Norm Teknik A.Ş.'nin Yönetim Kurulu Başkanlığı görevini sürdürmektedir.

Yangın söndürme sistemleri üzerine yayımlanmış bir başvuru kitabı ile çeşitli sektörel yayın ve mecmualarda yer almış çok sayıda teknik makale ve inceleme yazısı bulunmaktadır.

Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı (TÜYAK) Yönetim Kurulu Üyesi olan Turanlı;
TMMOB Makina Mühendisleri Odası (MMO) ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği
(TTMD) üyesidir.
Evli ve iki çocuk babasıdır.

SPANDREL BÖLGESİNİ YENİDEN YORUMLAMAK: YÜKSEK KATLI BİNALARDA KATTAN TAVANA ŞEFFAFLIĞIN SAĞLANMASINDA CEPHE ÇEVRESİ YANGIN BARİYERLERİNİN ROLÜ

Kayhan Turan
Meryem Turan

Özet

Perde duvar cephelerinin yaygın olarak kullanılması, yüksek düzeyde şeffaf, hafif ve enerji verimli bina kabuklarının oluşturulmasını mümkün kılarak çağdaş mimariyi dönüştürmüştür. Bununla birlikte, geniş cam yüzeylerin giderek daha fazla kullanılması, özellikle perde duvar ile taşıyıcı döşeme plağının birleşim noktasında önemli yangın güvenliği sorunlarını beraberinde getirmiştir. Yapısal hareketleri ve yapım toleranslarını karşılamak amacıyla gerekli olan döşeme kenarı çevresindeki boşluk, yeterli şekilde korunmadığı takdirde alevlerin, dumanın ve sıcak gazların düşey yönde yayılması için gizli bir geçiş yolu hâline gelebilir. Çevresel derz üzerinden gerçekleşen iç yangın yayılımına ek olarak, camların kırılmasıyla yangının bina dışına çıkması ve daha üst seviyelerde yeniden binaya girmesi durumunda, yaygın olarak **Leap-Frog etkisi** olarak adlandırılan dış alev yayılımı meydana gelebilir. Bu yangın yayılım mekanizmaları, pasif yangın korumasının bağımsız bir bileşen olarak ele alınması yerine cephe sistemine entegre edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu derleme, çağdaş perde duvar cephelerinde pasif yangın korumasının ilkelerini; özellikle çevresel yangın bariyerleri, korumalı spandrel düzenekleri, hareketlerin karşılanması ve sistem tabanlı yangın testleri üzerinde durarak incelemektedir. Çalışmada, ASTM E2307 ve EN 1364-4 dâhil olmak üzere uluslararası standartların, temsili yangın koşulları altında komple cephe düzeneklerinin yangın performansının değerlendirilmesindeki rolü ele alınmaktadır. Ayrıca, entegre pasif yangın korumasının, bina hareketlerine uyum sağlarken yangın kompartımanlamasını koruyarak hem mimari şeffaflığı hem de can güvenliğini nasıl desteklediği incelenmektedir. Derleme, modern yüksek katlı cephelerin yangına karşı dayanıklılığının iyileştirilmesi için mimarlar, cephe mühendisleri, yapı mühendisleri ve yangın güvenliği uzmanları arasındaki yakın iş birliğiyle geliştirilen sistem tabanlı bir tasarım yaklaşımının gerekli olduğu sonucuna varmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Perde duvar cephesi, Pasif yangın koruması, Çevresel yangın bariyeri, Spandrel bölgesi, Yangın kompartımanlaması

Abstract

The widespread adoption of curtain wall façades has transformed contemporary architecture by enabling highly transparent, lightweight, and energy-efficient building envelopes. However, the increasing use of extensive glazing has introduced significant fire safety challenges, particularly at the interface between the curtain wall and the structural floor slab. The slab-edge perimeter gap, which is required to accommodate structural movement and construction tolerances, may become a concealed pathway for the vertical spread of flames, smoke, and hot gases if not adequately protected. In addition to internal fire spread through the perimeter joint, external flame propagation, commonly referred to as the **Leap-Frog effect**, may occur when fire exits through broken glazing and re-enters the building at higher levels. These fire spread mechanisms highlight the necessity of integrating passive fire protection into the façade system rather than treating it as an independent component.

This review examines the principles of passive fire protection in contemporary curtain wall façades, with particular emphasis on perimeter fire barriers, protected spandrel assemblies, movement accommodation, and system-based fire testing. The paper discusses the role of international standards, including ASTM E2307 and EN 1364-4, in evaluating the fire performance of complete façade assemblies under representative fire conditions. It further explores how integrated passive fire protection supports both architectural transparency and life safety by maintaining fire compartmentation while accommodating building movement. The review concludes that a systems-based design approach, developed through close collaboration between architects, façade engineers, structural engineers, and fire safety specialists, is essential for improving the fire resilience of modern high-rise façades.

Keywords: Curtain wall façade; Passive fire protection; Perimeter fire barrier; Spandrel zone; Fire compartmentation

1. Giriş

Çağdaş mimari, son birkaç on yılda cephe tasarımında dikkate değer bir dönüşüme tanık olmuştur. Yapı mühendisliği, cam teknolojisi ve malzeme bilimindeki gelişmeler; hafif bina kabukları, artırılmış şeffaflık, iyileştirilmiş gün ışığı geçirgenliği ve geliştirilmiş mimari ifade sağlayan perde duvar sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesini mümkün kılmıştır. Bu cepheler, özellikle yüksek katlı ofisler, oteller ve karma kullanımlı projelerde, kesintisiz cam yüzeylerin görsel açıdan çarpıcı ve enerji verimli yapılar oluşturmak amacıyla sıklıkla kullanıldığı modern ticari binaların belirleyici bir özelliği hâline gelmiştir. Bu gelişmeler mimari olanakları önemli ölçüde genişletmiş olsa da, özellikle cephe ile taşıyıcı sistem arasındaki birleşim bölgesinde yangın güvenliğiyle ilgili yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir.

Geleneksel yığma cephelerin aksine, perde duvar sistemleri genel olarak taşıyıcı olmayan ve taşıyıcı sistemin dışına bağlanan düzeneklerdir. Isıl genleşmeyi, döşeme plağındaki sehimleri, rüzgâr kaynaklı hareketleri, sismik etkileri ve yapım toleranslarını karşılamak amacıyla, perde duvar ile her bir döşeme plağının kenarı arasında **döşeme kenarı çevresel boşluğu** bilinçli olarak bırakılır. Bu derz, cephenin normal işleyişi için gerekli olmakla birlikte, yeterli şekilde korunmadığı takdirde alevlerin, dumanın ve sıcak gazların düşey yönde yayılması için bir geçiş yolu hâline gelebilecek gizli bir boşluk da oluşturur. Sonuç olarak, döşeme kenarı çevresel boşluğu, yangın kompartımanlamasının korunması amacıyla dikkatle tasarlanmış pasif yangın koruma sistemlerini gerektiren, cephe yangın mühendisliğindeki en kritik bölgelerden biri hâline gelmiştir. Hareketlerin karşılanması ile yangın bütünlüğünün korunmasının önemi, teknik kılavuzlarda tekrar tekrar vurgulanmakta; bu kılavuzlarda, çevresel sızdırmazlıkların yangına maruz kalmadan önce ve yangın sırasında, rüzgâr, ısıl yükler ve yapısal sehimlerin neden olduğu kullanım koşullarındaki hareketler altında etkinliğini koruması gerektiği belirtilmektedir.

Yüksek katlı binalarda meydana gelen yangın olayları, uygun pasif yangın korumasının bulunmadığı veya yanlış tasarlandığı durumlarda cephe sistemlerinin yangının hızlı bir şekilde düşey yönde yayılmasına katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Yangının yayılması, çoğunlukla **baca etkisi** olarak tanımlanan, döşeme plağı ile perde duvar arasındaki boşlukta alevlerin ve sıcak gazların yükseldiği gizli döşeme kenarı çevresel boşluğu üzerinden iç tarafta gerçekleşebilir. Yangının dış tarafta yayılması da, camın yangına maruz kalma sonucunda bütünlüğünü kaybetmesiyle meydana gelebilir; bu durumda alevler yangın kompartımanından dışarı çıkar, cephe boyunca yukarı doğru ilerler ve bir üst kattaki camlardan tekrar binaya girer. Yaygın olarak **Leap-Frog etkisi** olarak bilinen bu mekanizma, yüksek oranda camlı perde duvar cepheleriyle ilişkili en önemli yangın tehlikelerinden birini oluşturmaktadır. Bu iki yangın yayılım mekanizması birlikte değerlendirildiğinde, cephe yangın güvenliğinin ayrı ve münferit bir detaylandırma konusu olarak değil, bina tasarımının ayrılmaz bir unsuru olarak ele alınması gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır.

Bu zorluklara yanıt olarak, pasif yangın koruması, yangına dayanıklı malzemelerin basit bir şekilde monte edilmesinden, modern binalarda yapının sahip olduğu hareketlere uyum sağlarken bölümlendirmeyi koru-

yabilen entegre cephe sistemlerinin geliştirilmesine doğru evrilmiştir. Günümüzdeki çözümler tipik olarak çevre yangın bariyerlerini, korumalı spandrel düzeneklerini, ısı yalıtımını, taşıyıcı çerçeve korumasını ve harekete uyum sağlayan malzemeleri tek bir koordineli sistem içerisinde bir araya getirir. Bu bileşenlerin bağımsız olarak işlev görmesi yerine, gerçekçi yangın koşulları altında alevlerin, dumanın ve aşırı ısının cephe içerisinden geçişini önlemek için birlikte çalışmaları gerekir. Bu entegre yaklaşım, cephe mühendisliğinde, yangın performansının tek tek ürünlerin performansından ziyade komple sistemin davranışı olarak değerlendirildiği daha geniş bir değişimi yansıtmaktadır.

Bu sistem temelli yaklaşım, **ASTM E2307** ve **EN 1364-4** gibi uluslararası yangın deney standartlarında da açıkça yansıtılmaktadır. Söz konusu standartlar, temsili yangın koşulları altında komple giydirme cephe (curtain wall) sistemlerinin ve döşeme kenarı çevresindeki yangın bariyeri sistemlerinin performansını değerlendirmektedir. Bu standartlar; döşeme plağı, giydirme cephe taşıyıcı çerçevesi, döşeme-cephenin birleşimindeki çevresel derz, spandrel bölgesindeki yangın koruması ve yapısal hareket arasındaki etkileşimin, sistemin genel yangın performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu kabul etmektedir.

Cephe sistemlerinin giderek daha hafif, daha yüksek ve mimari açıdan daha karmaşık hâle gelmesiyle birlikte, modern yangın güvenliği gerekliliklerine uygunluğun ortaya konulabilmesi açısından sistem düzeyinde gerçekleştirilen performans değerlendirmeleri giderek daha büyük önem kazanmıştır.

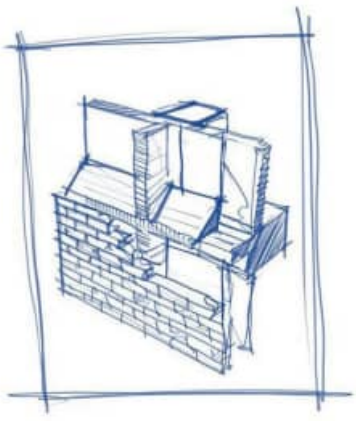
Cephelerin yangın performansı üzerine yapılan araştırmaların giderek artmasına rağmen, mevcut literatürün önemli bir bölümü tekil bileşenlere, belirli yangın olaylarına veya izole edilmiş deney prosedürlerine odaklanmaktadır. Buna karşılık, pasif yangın koruma sistemlerinin giydirme cephe sistemi içerisinde bir bütün olarak nasıl çalıştığını ve aynı zamanda mimari gerekliliklere, yapısal hareketlere ve mevzuata uygunluk koşullarına nasıl uyum sağladığını ele alan derleme çalışmalarının sayısı görece sınırlıdır.

Bu etkileşimlerin kapsamlı bir biçimde anlaşılması; güvenli ve dayanıklı yapı kabuklarının tasarımından sorumlu mimarlar, cephe mühendisleri, yapı mühendisleri ve yangın güvenliği uzmanları açısından temel bir gerekliliktir.

Bu doğrultuda, bu derleme çalışması, günümüz giydirme cephe sistemlerinde bütünleşik pasif yangın korumasının temel ilkelerini incelemekte; özellikle spandrel bölgesi, döşeme kenarı çevresindeki boşluk, yangının yayılma mekanizmaları, yapısal hareketlere uyum ve sistem temelli yangın deneyleri üzerinde durmaktadır. Güncel mühendislik ilkeleri, uluslararası standartlar ve teknik kılavuzların sentezlenmesi yoluyla bu çalışma, bütünleşik pasif yangın korumasının hem mimari yenilikleri hem de can güvenliğini nasıl desteklediğini ortaya koymayı; aynı zamanda yüksek performanslı cephe sistemlerinin gelecekteki tasarımında dikkate alınması gereken temel hususları belirlemeyi amaçlamaktadır.



Giydirme cephe sistemi



Yağmur Perdesi ve Cephe Kaplaması



Masonry

2. Giydirme Cephe Sistemleri ve Spandrel Bölgesi

2.1 Giydirme Cephe Sistemlerinin Gelişimi

Giydirme cephe sistemleri, özellikle yüksek katlı ticari yapılar ve karma kullanımlı binalarda, çağdaş mimarinin belirleyici özelliklerinden biri hâline gelmiştir. Yapının taşıyıcı stabilitesine katkıda bulunan geleneksel dış duvarların aksine, giydirme cepheler, taşıyıcı sisteme bağlanan ve esas olarak rüzgâr basıncı, yağmur suyunun içeri nüfuz etmesi ve termal etkiler gibi çevresel yüklere karşı koymak üzere tasarlanan **taşıyıcı olmayan cephe sistemleridir**. Bu sistemlerin temel işlevi, verimli bir yapı kabuğu oluştururken aynı zamanda mimarlara cephe tasarımı, şeffaflık ve gün ışığından yararlanma açısından daha fazla tasarım özgürlüğü sağlamaktır.

Giydirme cephe teknolojisinin gelişimi, yirminci yüzyılın ikinci yarısında alüminyum taşıyıcı çerçeve sistemlerinin ve yalıtımlı cam ünitelerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla hız kazanmıştır. Cam üretim teknolojilerindeki gelişmeler, yapısal sızdırmazlık malzemeleri, ısı yalıtımı ve cephe mühendisliğindeki ilerlemeler, giderek daha hafif ve yüksek düzeyde şeffaf yapı kabuklarının geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Günümüzde modern giydirme cephe sistemleri, geleneksel yığma cephelere kıyasla nispeten düşük yapısal ağırlığı korurken; yüksek düzeyde ısıl performans, akustik yalıtım, dış hava koşullarına dayanım ve mimari tasarım esnekliği sağlayabilmektedir.

Giydirme cephe sistemlerinin başlıca avantajlarından biri, doğal gün ışığından maksimum düzeyde yararlanma ve dış mekâna yönelik kesintisiz görüş imkânı sağlama kapasitesidir. Bu özellikler, kullanıcı konforunun artırılmasına, yapay aydınlatmaya olan bağımlılığın azaltılmasına ve mimari görünümün iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, tamamen camlı cepheler çağdaş kentsel mimariyle özdeşleşmiş ve görsel açıdan ayırt edici gökdelenlerin ve ticari yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bununla birlikte, cam kullanımının yaygınlaşması ve hafif yapı yaklaşımının benimsenmesi, özellikle yangın güvenliği açısından yeni mühendislik sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Yığma duvarların aksine, giydirme cephe sistemleri; bölme yangınları sırasında yangının davranışını etkileyebilecek çok sayıda arayüz, boşluk, derz ve bağlantı detayı içermektedir.

Modern giydirme cephe sistemlerinin giderek karmaşıklaşan yapısı, hava koşullarına dayanım ve ısıl verimliliğin ötesinde ilave performans gerekliliklerinin de sisteme entegre edilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Günümüz cephe sistemlerinin; ısıl genleşme, döşeme plağı sehimleri, rüzgâr yükleri ve sismik etkilerden kaynaklanan yapısal hareketlere uyum sağlarken aynı zamanda hava sızdırmazlığını, su geçirimsizliğini, akustik performansı ve yangın kompartımanlamasının sürekliliğini koruması gerekmektedir. Bu çoklu tasarım gereklilikleri, giydirme cephe mühendisliğini; mimarlık, yapı mühendisliği, yapı fiziği ve yangın güvenliği mühendisliğini bir araya getiren disiplinler arası bir alan hâline getirmiştir.

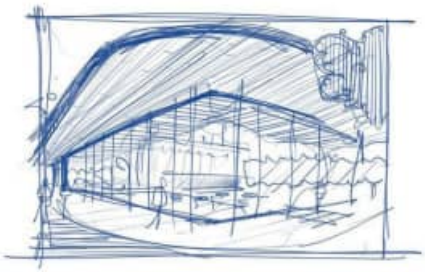
Bir giydirme cephe sistemini oluşturan çeşitli bileşenler arasında **spandrel bölgesi**, yangın güvenliği açısından özellikle önemli bir hâle gelmiştir. Giydirme cephe ile taşıyıcı döşeme plağının birleşim bölgesinde yer alan bu gizli bölge; ısı yalıtımı, taşıyıcı ankrajlar, çerçeve elemanları ve pasif yangın koruma sistemleri de dâhil olmak üzere birçok kritik yapı bileşenini barındırmaktadır. Bu nedenle, spandrel bölgesinin konfigürasyonunun ve işlevinin anlaşılması; modern cephe sistemlerinin, çağdaş binaların karakteristik özelliği olan mimari şeffaflığı korurken düşey yangın yayılımına nasıl karşı koyduğunun açıklanması açısından temel önem taşımaktadır.



The Shard



One Vanderbilt



Apple Park Visitor Center

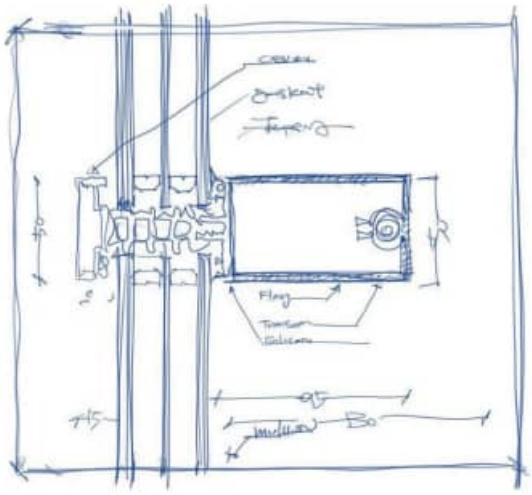
2.2 Giydirme Cephe Sistemlerinin Temel Bileşenleri

Çağdaş bir giydirme cephe sistemi; yapısal stabilite, çevresel etkilere karşı koruma, ısı yalıtımı, akustik performans ve yangına dayanım sağlamak üzere birlikte çalışan, birbiriyle bağlantılı çok sayıda bileşenden oluşan karmaşık bir mühendislik sistemidir. Cephe dışarıdan kesintisiz bir cam yüzey olarak algılansa da, gerçekte yapı kabuğu içerisinde her biri belirli bir işlevi yerine getiren çok sayıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemandan meydana gelmektedir. Bu bileşenlerin anlaşılması, giydirme cephe sistemlerinin yangına maruz kalma sırasındaki davranışının değerlendirilmesi ve pasif yangın korumasının entegre edilmesi gereken bölgelerin belirlenmesi açısından temel önem taşımaktadır.

Giydirme cephe sisteminin dışarıdan en belirgin görülen elemanı, doğal gün ışığının iç mekâna alınmasını, dış manzaranın algılanmasını ve mimari şeffaflığın sağlanmasını mümkün kılan **görüş camıdır (vision glass)**. Görüş camı genel olarak, rüzgâr yüklerini ve cephenin kendi ağırlığını yapının ana taşıyıcı sistemine aktaran **düşey kayıtlar (mullions)** ve **yatay kayıtlar (transoms)**dan oluşan alüminyum taşıyıcı çerçeve sistemleri içerisine yerleştirilir. Görüş camının arka tarafında ise, taşıyıcı döşeme plaklarını, ısı yalıtım malzemelerini, mekanik tesisatları ve dışarıdan görünür olması amaçlanmayan diğer yapı bileşenlerini gizlemek amacıyla, döşeme seviyelerinde yaygın olarak **spandrel panelleri** kullanılmaktadır.

Perde duvar sistemi, **ankraj braketleri** aracılığıyla bina taşıyıcı yapısına bağlanır. Bu braketler, cephe ile taşıyıcı çerçeve arasındaki farklı hareketlere uyum sağlanmasına olanak tanırken, taşıyıcı yükleri aktarır. Bu bağlantılar; camlama sistemi üzerinde aşırı gerilmeler oluşturmadan, termal genleşmeye, rüzgâr kaynaklı sehimlere, döşeme plağının hareketine ve yapım toleranslarına dayanacak şekilde tasarlanır. Bunun sonucunda, perde duvar ile döşeme plağının kenarı arasında kasıtlı olarak bir **döşeme kenarı çevresel boşluğu** bırakılır. Bu birleşim, cephenin normal hareketi için gerekli olmakla birlikte, katlar arasında alevlerin, dumanın ve sıcak gazların geçişini önlemek için dikkatle tasarlanmış pasif yangın koruması gerektiren gizli bir boşluk da oluşturur.

Spandrel bölgesi içerisinde, birkaç gizli bileşen cephenin genel yangın performansına katkıda bulunur. Bunlar tipik olarak ısı yalıtımı, yangına dayanıklı spandrel koruması, çevre yangın bariyerleri, buhar bariyerleri ve taşıyıcı çerçeve elemanlarını içerir. Bu elemanlar birbirlerinden bağımsız olarak çalışmak yerine, perde duvarın yapısal ve çevresel performansını korurken yangın kompartımanlamasını sürdürmek üzere tasarlanmış entegre bir sistem olarak işlev görür. Cephe dokümantasyonundaki teknik kesitler; çevre sızdırmazlığının, yalıtımın, çerçevenin ve taşıyıcı desteklerin bu gizli bölge içerisinde nasıl bir araya getirildiğini açıkça göstermekte ve böylece cephenin hareketine hâlâ izin verirken sürekli bir yangına dayanıklı bariyer oluşturmaktadır.



Perde duvar kesit detayı

Perde duvar sistemlerinin giderek artan karmaşıklığı, cephe mühendisliğinin camlama sistemlerinin seçiminden çok daha öteye uzandığını göstermektedir. Modern cephe performansı; yapısal, termal, akustik ve yangından korunma bileşenlerinin koordineli etkileşimine bağlıdır ve bunların tümü, binanın hizmet ömrü boyunca eş zamanlı olarak işlev görmek zorundadır. Sonuç olarak, bu gizli bileşenler arasındaki ilişkinin anlaşılması, bu incelemenin aşağıdaki bölümlerinde ele alınan yangından korunma stratejilerinin analiz edilmesi için temel oluşturmaktadır.

2.3 Spandrel Bölgesinin Anlaşılması

Bir perde duvar cephesinin çeşitli bileşenleri arasında **spandrel bölgesi**, etkili pasif yangın korumasının sağlanması açısından en kritik bölgelerden birini temsil eder. Genel olarak opak cephe panellerinin arkasında gizlendiği ve binanın ne içinden ne de dışından görülebildiği hâlde, spandrel bölgesi cephe sisteminin yapısal, termal ve yangın performansına katkıda bulunan çeşitli temel bileşenleri barındırır. Bu bölge, taşıyıcı döşeme plağı ile perde duvar arasındaki arayüzde yer alır; bitişik katlar arasındaki geçişi oluşturur ve yalıtım, cephe çerçevesi, taşıyıcı bağlantılar ve çevresel yangın koruması için gerekli alanı sağlar.

Mimari açıdan spandrel bölgesi; taşıyıcı döşeme plaklarını, kenar kirişlerini, mekanik tesisatları ve aksi takdirde camlı cephenin görsel sürekliliğini bozacak diğer yapı elemanlarını gizleme işlevi görür. Binanın dış görünümünü iyileştirmenin yanı sıra, bu gizli alan, çağdaş perde duvar sistemlerinin çoklu performans gerekliliklerini karşılamak için gerekli teknik bileşenlerin entegre edilmesine yeterli derinliği sağlar. Bu gereklilikler; ısı yalıtımı, nem kontrolü, akustik performans, taşıyıcı destek ve pasif yangın korumasını içerir.

Bununla birlikte, yangın mühendisliği açısından spandrel bölgesinin önemi, mimari işlevinin çok ötesine uzanmaktadır. Perde duvar ile taşıyıcı döşeme plağı arasındaki birleşim, termal genleşme, döşeme plağının sehim yapması, rüzgâr yükleri, sismik yer değiştirme ve yapım toleranslarının neden olduğu cephe hareketlerini karşılamak amacıyla kasıtlı olarak bırakılan bir **döşeme kenarı çevresel boşluğu** içerir. Bu hareket derzi, cephenin uzun vadeli performansı açısından gerekli olmakla birlikte, uygun pasif yangın koruması sağlanmadığı takdirde alevlerin, dumanın ve sıcak gazların düşey yönde yayılabileceği gizli bir geçiş yolu da oluşturur. Teknik kılavuzlar, perde duvar sistemleri içerisinde entegre yangın koruması gerektiren en kritik konumlardan biri olarak bu arayüzü tekrar tekrar tanımlamaktadır.

Bu konumda yangın kompartımanlamasının sürekliliğini yeniden sağlamak amacıyla, spandrel bölgesi tipik olarak entegre bir sistem olarak birlikte çalışan çeşitli pasif yangın koruma önlemlerini içerir. Bunlar arasında döşeme kenarı boşluğu içerisine yerleştirilen bir **çevre yangın bariyeri (perimeter fire barrier)**, spandrel panelinin arkasındaki yangına dayanıklı koruma, ısı yalıtımı ve uygun şekilde detaylandırılmış çerçeveleme ve sabitleme sistemleri bulunur. Bu elemanlar ayrı ürünler olarak işlev görmek yerine, cephenin

normal bina hareketlerine uyum sağlamaya devam etmesine olanak tanırken, alevlerin, dumanın ve aşırı ısının geçişine topluca karşı koyar. Bu entegre yaklaşım, cephe yangın performansının tek tek bileşenlerin performansından ziyade, komple sistemin davranışına bağlı olduğunun giderek daha fazla kabul edildiğini yansıtmaktadır.

Mimari eğilimlerin daha geniş camlı alanlara ve daha düşük görünür spandrel yüksekliklerine yönelmesiyle birlikte, spandrel bölgesinin önemi önemli ölçüde artmıştır. Çağdaş binalarda, gün ışığını en üst düzeye çıkarmak ve kesintisiz dış manzaralar oluşturmak amacıyla, döşemeden tavana kadar camlama giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu tasarımlar mimari kaliteyi artırırken, pasif yangın koruması için mevcut alanı azaltmakta ve yangına dayanıklı sistemlerin gizli spandrel boşluğu içerisinde verimli bir şekilde entegre edilmesinin önemini artırmaktadır. Sonuç olarak, spandrel bölgesinin tasarımı, modern cephe mühendisliğinde en önemli hususlardan biri hâline gelmiş; mimari şeffaflık ile yangın sırasında can güvenliğinin korunmasına yönelik temel gereklilik arasında denge kurulmasını zorunlu kılmıştır.

Spandrel bölgesinin konfigürasyonunun ve işlevinin anlaşılması, aşağıdaki bölümde ele alınan düşey yangın yayılımı mekanizmalarının analiz edilmesi için temel oluşturmaktadır. Hem döşeme kenarı çevresel boşluğu üzerinden gerçekleşen gizli yangın yayılımı hem de camın kırılması sonrasında meydana gelen dış yangın yayılımı bu bölgeden kaynaklandığı veya bu bölgeden geçtiği için, spandrel sisteminin etkinliği çağdaş perde duvar cephelerinin genel yangın performansında belirleyici bir rol oynamaktadır.



Döşeme, spandrel camı ve braketleri gösteren perde duvar kesiti

2.4 Döşeme Kenarı Çevre Boşluğu Neden Vardır

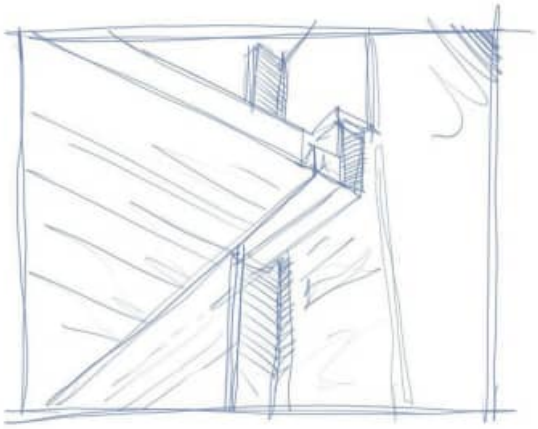
Döşeme kenarı çevre boşluğu, modern giydirme cephe sistemlerinin en yanlış anlaşılan özelliklerinden biridir. İlk bakışta, taşıyıcı döşeme ile cephe arasındaki gereksiz bir açıklık gibi görünebilir. Ancak gerçekte bu derz, giydirme cephenin bir binanın ömrü boyunca maruz kaldığı çeşitli hareketlere uyum sağlamasına olanak veren, kasıtlı olarak tasarlanmış bir mühendislik gerekliliğidir. Bu hareket boşluğu olmadan cephe, yapısal yer değiştirmeyi karşılayamaz ve bunun sonucunda aşırı gerilmeler, camlama elemanlarının hasar görmesi veya kırılması, cephede deformasyon ya da taşıyıcı bağlantılarda hasar meydana gelebilir.

Geleneksel yığma duvarların aksine, giydirme cepheler, bir dizi mekanik ankraj ve konsol aracılığıyla bina taşıyıcı sistemine bağlanan, hafif ve taşıyıcı olmayan sistemler olarak tasarlanır. Cephe ile taşıyıcı çerçeve, çevresel ve yapısal yükler karşısında farklı şekilde tepki verdiğinden, iki sistem arasında belirli ölçüde bağımsız hareket kaçınılmazdır. Çevre boşluğu, camlama ve çerçeve sistemlerine aşırı kuvvetlerin aktarılmasını önlerken, bu hareketleri karşılamak için gerekli alanı sağlar.

Bina işletimi sırasında giydirme cephelerin hareketine çeşitli faktörler katkıda bulunur. **Isıl genleşme ve büzülme**, alüminyum çerçeve sistemlerinin günlük ve mevsimsel sıcaklık değişimlerine tepki vermesiyle meydana gelir. **Rüzgâr yükü**, özellikle önemli rüzgâr basınçlarına maruz kalan yüksek katlı binalarda,

cephenin yatay yönde sehim yapmasına neden olur. Buna ek olarak, sabit ve hareketli yapısal yüklerden kaynaklanan **döşeme plağı sehimi**, giydirme cephenin taşıyıcı çerçeveye göre göreceli konumunu değiştirebilir. Sismik hareketliliğin bulunduğu bölgelerde, deprem kaynaklı katlar arası ötelenme, birbirini takip eden katlar arasında daha büyük farklı hareketlere neden olabilir. Sonuç olarak, çevre derzi, binanın kullanım ömrü boyunca tekrarlanan sıkışma ve genleşme döngülerini karşılayabilecek kapasitede kalmalıdır. Şartname rehberinde, çevre derzinin gerekli yangın performansını azaltmadan dikkate alınması gereken tasarım koşulları olarak özellikle **bina hareketi, rüzgâr yükü ve yapısal sehim** vurgulanmaktadır. Döşeme kenarı çevre boşluğu, cephe performansı açısından hayati önem taşımasına rağmen, aynı zamanda önemli bir yangın güvenliği sorunu da ortaya çıkarır. Bölümlendirilmiş bir yangın sırasında, yapısal harekete izin veren aynı açıklık, alevlerin, dumanın ve sıcak gazların katlar arasında dikey olarak yayılabileceği gizli bir geçiş yolu hâline gelebilir. Bu nedenle, hareket derzi basitçe rijit yapı malzemeleriyle doldurulamaz. Bunun yerine, tekrarlanan bina hareketlerine uyum sağlayabilecek kadar esnek kalırken, hem taşıyıcı döşeme plağı hem de giydirme cephe ile sürekli teması koruyan pasif yangın koruma sistemlerini içermelidir.

Bu gereklilik, modern çevre yangın koruma sistemlerinin geliştirilmesini önemli ölçüde etkilemiştir. Çağdaş çevre sızdırmazlıkları yalnızca yangına dayanıklı bariyerler olarak işlev görmek yerine, **yangına dayanıklılık**, **sıkıştırılabilirlik**, **harekete uyum sağlama** ve **uzun süreli dayanıklılık** özelliklerini tek bir entegre sistem içerisinde bir araya getirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu özellikler, derzin cephe kullanım ömrü boyunca hem yapısal hem de yangın güvenliği işlevlerini yerine getirmeye devam etmesini sağlar. Sonuç olarak, döşeme kenarı çevre boşluğu bir tasarım zayıflığı olarak değil, yapısal hareket ile pasif yangın korumasının çağdaş giydirme cepheli binaların genel güvenliğini ve dayanıklılığını sağlamak üzere birlikte çalışması gereken kritik bir mühendislik arayüzü olarak değerlendirilmelidir.



ASTM E2307 _ Spandrel'siz Tasarım

2.5 Hareketin Karşılanması ve Performans Gereklilikleri

Döşeme kenarı çevre boşluğunun bulunması, yalnızca yangına maruz kalmanın ötesine geçen koşullar altında performans gösterebilen pasif yangın koruma sistemlerini gerektirir. Bir binanın kullanım ömrü boyunca cephe; ısıl genleşme, yapısal sehim, rüzgâr yükü, yapım toleransları ve bazı bölgelerde sismik faaliyet nedeniyle meydana gelen tekrarlanan hareketlere maruz kalır. Sonuç olarak, çevre derzi içerisine monte edilen pasif yangın koruma sistemleri, bu tekrarlanan hareketlere uyum sağlarken bütünlük veya performans kaybına uğramadan sürekli yangın bölmelendirmesini sürdürmelidir.

Çevre yangın korumasının temel performans gerekliliklerinden biri **sıkıştırılabilirliktir**. Bina hareket ettikçe döşeme kenarı çevre boşluğunun genişliği değiştiğinden, yangın koruma malzemesi, hem giydirme cephe hem de taşıyıcı döşeme plağı ile sürekli teması korurken tekrar tekrar sıkışabilmeli ve eski hâline dönebil-

melidir. Yangın bariyeri sıkıştırmasını kaybeder veya çevresindeki yapıdan ayrılırsa, derz içerisinde açıklıklar oluşabilir ve bu durum yangın sırasında alevlerin, dumanın ve sıcak gazların geçişi için potansiyel yollar meydana getirebilir. Şartname rehberi, çevre yangın durdurucusunun etkinliğinin, cephe hareketine rağmen gerekli yangına dayanım süresi boyunca sıkıştırmayı koruyabilme kabiliyetine bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Ancak, uzun süreli dayanıklılık sürdürülemezse, yalnızca harekete uyum sağlama yeterli değildir. Kullanım ömrü boyunca çevre yangın koruma sistemi, bina kullanıma açılmadan önce tekrarlanan mekanik yüklere, neme, sıcaklık dalgalanmalarına, inşaat sırasında ultraviyole radyasyona ve diğer çevresel koşullara maruz kalabilir. Bu faktörler, yangın koruma malzemesinin fiziksel özelliklerini zamanla etkileyebilir ve sürekli bir yangın sızdırmazlığını koruma kabiliyetini azaltabilir. Bu nedenle, dayanıklılık, pasif yangın koruma sistemlerinin tasarımında ve değerlendirilmesinde giderek daha önemli bir husus hâline gelmiştir.

Uzun süreli güvenilirliklerini göstermek amacıyla, modern çevre yangın koruma sistemleri yangın testine tabi tutulmadan önce **mekanik olarak indüklenen hareket döngülerine** tabi tutulur. Bu döngüsel testler, binanın kullanım ömrü boyunca rüzgâr salınımı, ısıl hareket ve yapısal sehim ile ilişkili tekrarlanan sıkışma ve genleşmeyi simüle eder. Teknik rehberde, Avrupa değerlendirme prosedürlerinin, uzun süreli kullanım koşullarından sonra yangın koruma sisteminin gerekli yangına dayanımı sağlamaya devam ettiğini doğrulamak için tekrarlanan hareket döngülerinin uygulanmasını gerektirdiği belirtilmektedir. Hareket, fırın maruziyetinden önce değerlendirilerek, bu testler yalnızca yangın testine kıyasla gerçek bina performansının daha temsilî bir değerlendirmesini sağlar.

Sıkıştırılabilirlik, harekete uyum sağlama ve dayanıklılığın bir araya getirilmesi, çağdaş giydirme cephe sistemlerinde pasif yangın korumasının gelişen rolünü ortaya koymaktadır. Modern çevre yangın bariyerleri, yalnızca bir boşluğu kapatmak amacıyla yerleştirilen yangına dayanıklı malzemeler olarak işlev görmek yerine, cephe montajının dinamik bileşenleri olarak çalışacak şekilde mühendislik yaklaşımıyla tasarlanmıştır. Yapısal harekete uyum sağlarken yangın bölmelendirmesini koruyabilme kabiliyetleri, yüksek katlı binaların uzun vadeli güvenliği ve dayanıklılığı açısından temel öneme sahiptir ve çağdaş cephe yangın mühendisliğinin belirleyici ilkelerinden birini temsil etmektedir.

3. Giydirme Cephelerde Yangının Yayılma Mekanizmaları

3.1 Yangın Bölmelendirmesi ve Dikey Yangın Yayılımı

Modern yangın güvenliği mühendisliğinin temel ilkelerinden biri, yangını belirli bir süre boyunca başladığı yangın kompartımanında sınırlamayı amaçlayan yangın bölmelendirmesidir. Alevlerin, dumanın ve sıcak gazların hareketini sınırlandırarak bölmelendirme; yangının büyümesini sınırlar, bitişik alanları korur, bina kullanıcılarına tahliye için yeterli zaman sağlar ve itfaiyecilerin söndürme faaliyetlerini daha güvenli koşullar altında gerçekleştirmesine olanak tanır. Çok katlı binalarda, taşıyıcı döşeme plağı temel yatay yangın bariyeri olarak görev yapar; bir katı diğerinden ayırır ve yangının hızlı bir şekilde dikey olarak yayılmasını önler.

Yangın bölmelendirmesinin etkinliği yalnızca duvarların ve döşeme plaklarının yangına dayanımına değil, aynı zamanda bina kabuğu içerisindeki her bir arayüzde yangına dayanıklı yapı elemanlarının sürekliliğine de bağlıdır. Bu arayüzlerin en kritik olanlarından biri, taşıyıcı döşeme plağı ile giydirme cephe arasındaki birleşimdir. Önceki bölümde ele alındığı üzere, bu birleşim, bina hareketini karşılamak üzere kasıtlı olarak tasarlanmış bir döşeme kenarı çevre boşluğu içerir. Yapısal açıdan gerekli olmasına rağmen, bu açıklık döşeme plağının sürekliliğini kesintiye uğratır ve bu nedenle kompartıman sınırını yeniden oluşturmak için uygun şekilde tasarlanmış pasif yangın koruması gerektirir.

Çevre boşluğu korumasız kalırsa veya yangın koruma sistemi yangına maruz kalma sırasında bütünlüğünü koruyamazsa, döşeme plağının sağladığı yangın bölmelendirmesi tehlikeye girebilir. Alevler, duman ve sıcak gazlar, gizli derz içerisinden geçerek cephe boşluğuna dikey olarak veya doğrudan üst kattaki kata

yayılabilir. Cephe şartnamesi rehberi, uygun çevre yangın korumasının bulunmadığı veya etkisiz olduğu durumlarda bu **hareket boşluğunu**, katlar arasında iç yangın yayılımının başlıca geçiş yollarından biri olarak tanımlamaktadır.

Geleneksel yığma yapıdan farklı olarak, giydirme cephe sistemleri, sürekli yangın bölmelendirmesinin korunmasının karmaşıklığını artıran çok sayıda gizli boşluk, taşıyıcı bağlantı ve tesisat arayüzü içerir. Sonuç olarak, cephe–döşeme plağı arayüzündeki pasif yangın koruması, basit bir sızdırmazlık işlevinden daha fazlasını yerine getirmelidir. Bu sistem, kesintiye uğramış döşeme plağının yangına dayanımını yeniden sağlamalı ve aynı zamanda binanın kullanım ömrü boyunca yapısal hareketi, ısıl genleşmeyi ve cephe sehimini karşılamalıdır. Her iki gerekliliğin de karşılanamaması, yangın bölmelendirme stratejisinin etkinliğini azaltabilir ve yangının dikey olarak yayılma olasılığını artırabilir.

Bu nedenle, giydirme cephelerde etkili yangın kompartımanlamasının sürdürülmesi; çevre yangın bariyerinin, korunan parapet (spandrel) sisteminin, taşıyıcı çerçeve sisteminin ve yapısal bağlantıların, kompartıman sınırının sürekliliğini korumak üzere birlikte çalıştığı bütünleşik bir yaklaşımı gerektirir. Bu sistem temelli yaklaşım, çağdaş cephe yangın mühendisliğinin temelini oluşturur ve aşağıdaki bölümlerde ele alınan dikey yangın yayılımının iki temel mekanizmasının anlaşılması için dayanak sağlar.

3.2 Döşeme Kenarındaki Çevresel Boşluk Yoluyla İç Yangın Yayılımı (Baca Etkisi)

Döşeme kenarındaki çevresel boşluk yoluyla iç yangın yayılımı, giydirme cephelerde (curtain wall) ortaya çıkan en önemli yangın tehlikelerinden birini temsil eder. Bu mekanizma, alevlerin, dumanın ve sıcak gazların bir yangın kompartımanından dışarı çıkarak taşıyıcı döşeme plağı ile giydirme cephe arasındaki gizli boşluğa girmesi durumunda meydana gelir. Çevresel birleşim yeterli şekilde korunmamışsa, bu boşluk sürekli bir düşey yol görevi görebilir; böylece yangının kompartıman döşemesini aşmasına ve üst kattaki kata hızla yayılmasına olanak sağlar.

Bu olgu, cephe sistemi tarafından oluşturulan dar düşey boşluğun bir bacaya benzer şekilde davranması nedeniyle yaygın olarak **baca etkisi (chimney effect)** olarak adlandırılır. Yangın kompartımanı içerisindeki sıcaklık arttıkça, sıcak gazların yoğunluğu azalır ve kaldırma kuvvetinin etkisiyle hızla yükselir. Bunun sonucunda oluşan yukarı yönlü hava akışı, alevleri ve dumanı döşeme kenarındaki çevresel boşluk boyunca çekerek bu bölgede yanıcı malzemelerin tutuşmasına, taşıyıcı bileşenlerin yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına ve cephe sisteminin yangına dayanımının tehlikeye girmesine neden olabilir. Boşluğun gizli yapısı, bu tür yangın yayılımını özellikle tehlikeli hâle getirir; çünkü yangının ilk aşamalarında fark edilmeden kalabilir.

İç yangın yayılımı riski, modern giydirme cephe sistemlerinin geometrisi nedeniyle daha da artmaktadır. Yüksek katlı binalarda çoğu zaman birden fazla kat boyunca devam eden sürekli cephe boşlukları bulunurken, hafif alüminyum çerçeve sistemleri ısıyı bitişik bileşenlere kolaylıkla iletir. Çevresel boşluk açık kalırsa veya pasif yangın koruma sistemi yangına maruz kalma sırasında işlevini kaybederse, taşıyıcı döşeme plağı tarafından sağlanan yangın kompartımanlamasının sürekliliği kesintiye uğrar. Bunun sonucunda alevler ve sıcak gazlar, üst katlarda görünür hâle gelmeden önce cephe içerisinde düşey yönde yayılabilir; bu durum tahliye için mevcut süreyi azaltır ve yangınla mücadele operasyonlarının karmaşıklığını artırır.

Bu tür yangın yayılımını önlemek için döşeme kenarındaki çevresel boşluk, gerekli yangına dayanım süresi boyunca hem giydirme cephe ile hem de taşıyıcı döşeme plağı ile sürekli temasını sürdürebilen pasif yangın koruma sistemleri kullanılarak kapatılmalıdır. Bu sistemler yalnızca alevlerin ve dumanın geçişine karşı dayanım göstermekle kalmamalı, aynı zamanda Bölüm 2'de ele alınan yapısal hareketlere de, sızdırmazlık etkinliğini kaybetmeden uyum sağlayabilmelidir. Teknik kılavuz, etkili bir çevre yangın bariyerinin, kesintiye uğramış kompartıman sınırını yeniden oluştururken cephe hareketi için gerekli esnekliği koruduğunu ve böylece baca etkisiyle ilişkili gizli düşey yangın yayılımını önlediğini göstermektedir.

Baca etkisi, bir giydirme cephe sisteminin yangın performansının yalnızca görünür bileşenlerinin yangına dayanımına değil, aynı zamanda parapet (spandrel) bölgesine entegre edilmiş gizli pasif yangın korumasının etkinliğine de bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, çağdaş cephe yangın mühendisliğinde döşe-

me kenarındaki çevresel boşluğun korunması, yüksek katlı binalarda düşey yangın yayılımının sınırlandırılmasına yönelik en kritik önlemlerden biri olarak kabul edilmektedir.

3.3 Cephe Boyunca Dış Yangın Yayılımı (Sıçrama Etkisi)

Döşeme kenarındaki çevresel boşluk yoluyla iç yangın yayılımı önemli bir gizli tehlike oluştururken, alevler aynı zamanda bina cephesi boyunca dışarıdan da yayılabilir. Yaygın olarak **Sıçrama Etkisi (Leap-Frog Effect)** olarak bilinen bu mekanizma, yangına maruz kalan camların termal gerilmeler nedeniyle kırılması ve alevler ile sıcak gazların yangın kompartımanından dışarı çıkmasına olanak sağlaması durumunda meydana gelir. Bina kabuğunun dışına çıktıktan sonra alevler, cephenin dış yüzeyi boyunca yükselir ve üst kattaki camları kırarak yangının yeniden binaya girmesine ve yeni bir kompartımanı tutuşturmasına olanak sağlayabilir.

Sıçrama Etkisi (Leap-Frog Effect), esas olarak bir kompartıman yangını sırasında oluşan yoğun termal yükselme akımından kaynaklanır. Alevler kırılmış camlardan dışarı çıktığında, kaldırma kuvveti ve cephenin dış yüzeyi tarafından yukarı doğru yönlendirilir. Pencere geometrisi, cephe konfigürasyonu, rüzgâr koşulları ve yangın şiddeti gibi faktörlere bağlı olarak alevler, açıklığın birkaç metre üzerine kadar uzanabilir. Üst kattaki cam yeterli miktarda ısıya maruz kalırsa, camın bütünlüğü bozulabilir ve bunun sonucunda alevlerin ve sıcak gazların üstteki kompartımana girebileceği yeni bir açıklık oluşabilir. İç yangın yayılımından farklı olarak bu mekanizma, daha yüksek bir seviyeden yeniden binaya girmeden önce tamamen bina kabuğunun dışında gerçekleşir.

Tabandan tavana kadar uzanan cam kullanımının artması ve parapet (spandrel) yüksekliklerinin azaltılması, çağdaş giydirme cephelerin dıştan düşey yangın yayılımına karşı daha hassas hâle gelmesine neden olmuştur. Tarihsel olarak, daha yüksek opak parapet (spandrel) panelleri, ardışık cam sıraları arasında daha fazla ayırma mesafesi sağlayarak alevlerin üstteki pencerelere doğrudan temas etmesini azaltmıştır. Ancak modern mimari eğilimler, maksimum şeffaflığı ve kesintisiz cam cepheleri tercih etmekte ve çoğu zaman bitişik katlar arasında mevcut olan düşey ayırma mesafesini sınırlamaktadır. Bunun sonucunda, cephe geometrisi, dış yangın yayılımı potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir unsur hâline gelmiştir.

Sıçrama Etkisi (Leap-Frog Effect) bina dışında gelişmesine rağmen, sonuçları gizli parapet (spandrel) bölgesinin tasarımıyla yakından ilişkilidir. Yangına dayanıklı parapet (spandrel) koruması, cephe sistemi içerisindeki ısı transferinin azaltılmasına yardımcı olurken, çevre yangın bariyerleri döşeme kenarında kompartımanlamayı korur. Bu pasif yangın koruma önlemleri birlikte, yangının hem iç hem de dış yayılım yollarını sınırlandırarak cephe yangın güvenliğinin tek bir koruyucu elemana dayandırılamayacağını göstermektedir. Bunun yerine, komple cephe sistemi, birden fazla yangın yayılım mekanizmasına aynı anda karşı koyabilecek bütünleşik bir yangın koruma sistemi olarak çalışmalıdır.

Baca etkisi ile Sıçrama Etkisi (Leap-Frog Effect) arasındaki etkileşim, çağdaş giydirme cephe sistemlerinde yangın davranışının ne kadar karmaşık olduğunu göstermektedir. Bir yangın başlangıçta döşeme kenarındaki çevresel boşluk yoluyla bina içerisinde, camların kırılmasından sonra cephe boyunca bina dışında veya her iki mekanizmanın birleşimi yoluyla yayılabilir. Sonuç olarak, etkili cephe yangın koruması; bina kabuğu içerisindeki gizli yangın yayılımını ve cephenin yüzeyi boyunca gerçekleşen dış alev yayılımını ele alan çözümler gerektirir. Bu sistem temelli anlayış, modern cephe yangın mühendisliğinin temelini oluşturmakta ve günümüzde kullanılan uluslararası test metodolojilerinin temel dayanağını teşkil etmektedir.

3.4 İç ve Dış Yangın Yayılımı Arasındaki Etkileşim

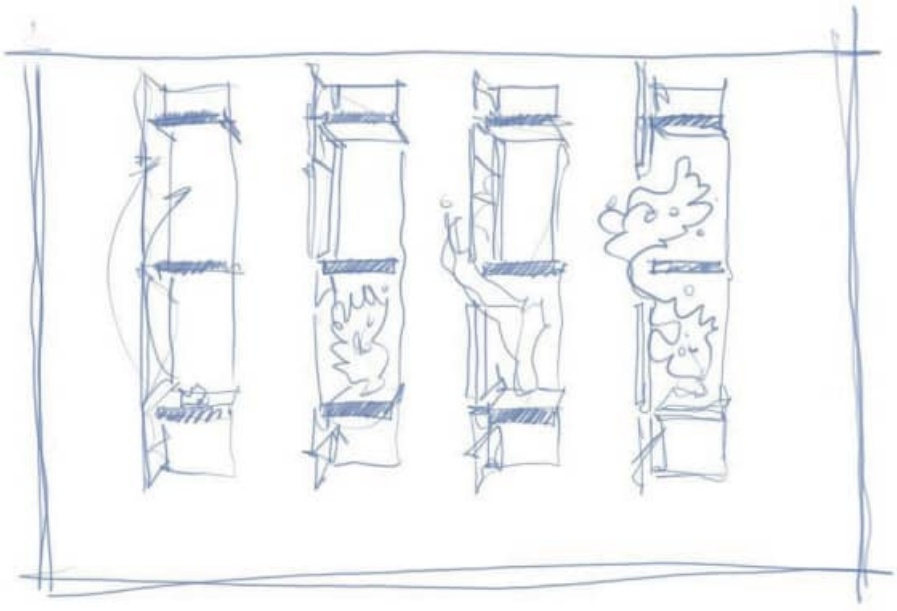
Uygulamada, giydirme cephelerde düşey yangın yayılımı nadiren tek bir mekanizma yoluyla gerçekleşir. Bir kompartıman yangını sırasında, **döşeme kenarındaki çevresel boşluk yoluyla iç yangın yayılımı ile cephe boyunca dış yangın yayılımı aynı anda gelişebilir** ve alevlerin, dumanın ve sıcak gazların öngörülen kompartıman sınırlarını aşabileceği birden fazla yayılım yolu oluşturabilir. Dolayısıyla, bu mekanizmalardan herhangi birinin tek başına değerlendirilmesi, modern giydirme cephe sistemlerinde yangın davranışının karmaşıklığını tam olarak yansıtmaz.

Yangının gelişim sırası, binanın özelliklerine ve yangının şiddetine bağlı olarak değişebilir. Bazı durumlarda alevler önce gizli döşeme kenarı çevresel boşluğuna nüfuz eder ve üst katlarda görünür hâle gelmeden önce cephe boşluğu içerisinde yukarı doğru yayılır. Diğer durumlarda ise camların bütünlüğünün bozulması hızlı bir şekilde gerçekleşir; bu durum, alevlerin kompartımandan dışarı çıkmasına ve üst kattaki camlar üzerinden yeniden binaya girmeden önce cephe boyunca dışarıdan yayılmasına olanak sağlar. Şiddetli yangın koşullarında her iki mekanizma da aynı anda meydana gelebilir; bu da düşey yangın yayılım hızını artırır ve nispeten kısa bir süre içerisinde birden fazla katın yangına maruz kalmasına neden olur.

Bu iki yangın yayılım yolu arasındaki etkileşim, cephenin **tek tek bileşenlerin bir bütünü olarak değil, komple bir mühendislik sistemi olarak değerlendirilmesi gerektiğini** göstermektedir. Çevre yangın bariyerinin performansı iç yangın yayılımını etkilerken, parapet (spandrel) sisteminin tasarımı, cephe geometrisi, camlama konfigürasyonu ve dış kaplama elemanlarının tümü dış yangın yayılımının kontrol edilmesine katkıda bulunur. Bu unsurlardan herhangi birindeki zayıflık, diğer bileşenler amaçlandığı şekilde performans gösterse bile, tüm cephe sisteminin etkinliğini azaltabilir.

Bu nedenle, çağdaş cephe yangın mühendisliğinde giderek daha fazla **sistem temelli bir yaklaşım** benimsenmektedir; bu yaklaşımda pasif yangın koruması, tek başına kullanılan yangına dayanıklı malzemelere güvenmek yerine, gizli parapet (spandrel) bölgesi boyunca entegre edilmektedir. Bu yaklaşım, etkili yangın güvenliğinin; çevre yangın bariyerlerinin, parapet (spandrel) korumasının, çerçeve elemanlarının, yapısal ankrajların, yalıtımın ve hareketlere uyum sağlayan derzlerin koordineli performansına bağlı olduğunu kabul etmektedir. Uluslararası yangın test standartları da benzer şekilde, tek tek ürünleri birbirinden bağımsız olarak değerlendirmek yerine, temsili yangın koşulları altında komple cephe sistemlerinin değerlendirilmesine doğru gelişmiştir.

İç ve dış yangın yayılımı arasındaki etkileşimin anlaşılması, çağdaş giydirme cephelerde gerekli olan yapısal hareketi ve mimari şeffaflığı korurken her iki yangın yayılım yolunu aynı anda kesintiye uğratmak üzere bütünleşik pasif yangın koruma sistemlerinin nasıl tasarlandığını inceleyen bir sonraki bölümün temelini oluşturmaktadır.



Dış cephede dikey yangın yayılımının ardışık gösterimi (Leap-Frog etkisi); alevlerin cepheden dışarı çıkarak üst kata yayılmasını göstermektedir.

4 . Giydirme Cephelerde Entegre Pasif Yangın Koruması

4.1 Cephe–Döşeme Arayüzünde Yangın Bölmelendirmesini Yeniden Sağlayan Çevresel Yangın Bariyerleri

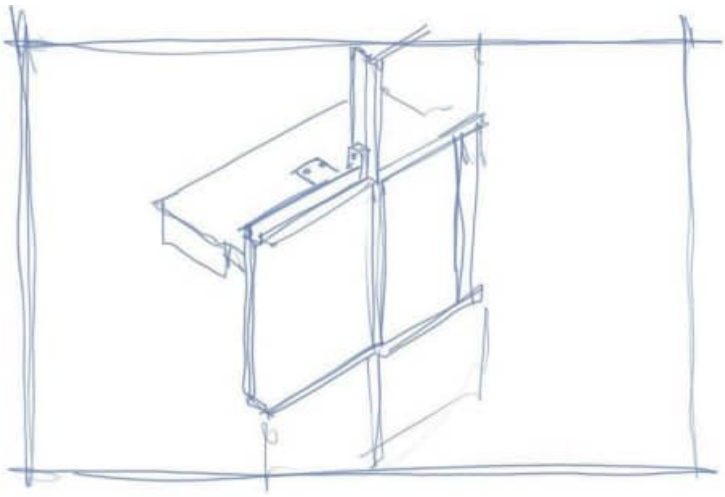
Döşeme kenarı çevresindeki boşluk, çağdaş giydirme cepheli binalarda yangının dikey yönde yayılması açısından en savunmasız bölgelerden birini temsil etmektedir. Önceki bölümde ele alındığı üzere, bu birleşim; termal genleşmeyi, yapısal sehimleri, rüzgâr kaynaklı hareketleri ve yapım toleranslarını karşılamak amacıyla bilinçli olarak oluşturulmaktadır. Cephe sisteminin yapısal performansı açısından gerekli olmakla birlikte, bu boşluk yapısal döşemenin sürekliliğini kesintiye uğratmakta ve bu nedenle bir bölme yangını sırasında alevler, duman ve sıcak gazlar için potansiyel bir geçiş yolu oluşturmaktadır. Bölme sınırının yangına dayanımını yeniden sağlamak amacıyla, pasif yangın koruma stratejisinin kritik bir bileşeni olarak çevresel yangın bariyerleri, bu arayüz içerisine yerleştirilmektedir.

Bir çevresel yangın bariyerinin temel işlevi, **hareket derzi nedeniyle kesintiye uğrayan yangın bölmelendirmesini yeniden tesis etmektir**. Taşıyıcı döşemenin kenarı ile giydirme cephe arasına yerleştirilen bariyer, gizli boşluk içerisinden alevlerin ve dumanın geçişini önlerken, bitişik katlar arasındaki ısı transferini de sınırlar. Bu arayüzü sızdırmaz hâle getirerek sistem, döşeme tarafından sağlanan yangına dayanımın cephe hattında sonlanmak yerine tüm bina kabuğu boyunca devam etmesini sağlamaya yardımcı olur.

Hizmet geçişlerinin çevresinde kullanılan geleneksel yangın durdurma sistemlerinden farklı olarak, çevresel yangın bariyerlerinin hem **yangın performansı** hem de **hareket performansı** gerekliliklerini karşılaması gerekir. Bir binanın normal kullanım ömrü boyunca, giydirme cephe çevresel ve yapısal etkilere tepki verdikçe çevresel derzin genişliği sürekli olarak değişir. Buna bağlı olarak yangın bariyeri, yangına karşı dayanım gösterme kabiliyetini kaybetmeden hem döşeme kenarıyla hem de giydirme cepheyle sürekli temas hâlinde kalmalıdır. Teknik şartname, çevresel sızdırmazlıkların kullanım koşullarındaki hareketleri karşılayarak sürekli bir sıkıştırmalı uyumu koruyacak şekilde tasarlandığını ve yangına maruz kalmadan önce veya yangın sırasında herhangi bir boşluk oluşmamasını sağladığını vurgulamaktadır. Bu çift yönlü gereklilik, çevresel yangın bariyerlerini binalarda kullanılan diğer birçok pasif yangın koruma elemanından ayırmaktadır.

Bu nedenle modern çevresel yangın bariyerleri, bağımsız yapı ürünleri olarak değil, **entegre bir cephe sisteminin parçası** olarak tasarlanmaktadır. Bunların etkinliği yalnızca yangına dayanıklı malzemenin kendisine değil, aynı zamanda giydirme cephe taşıyıcı çerçevesi, yapısal ankrajlar, parapet (spandrel) koruması ve döşeme plağı dâhil olmak üzere çevredeki cephe bileşenleriyle doğru şekilde etkileşimine de bağlıdır. Bu arayüzlerden herhangi biri uygun şekilde detaylandırılmaz veya monte edilmezse, yangına dayanıklı malzemelerin mevcut olmasına rağmen bölme sınırının sürekliliği tehlikeye girebilir. Bu nedenle çağdaş cephe mühendisliği, çevresel yangın bariyerini giderek daha fazla, performansı ancak komple giydirme cephe sisteminin bütünü bağlamında tam olarak anlaşılabilen bir sistem bileşeni olarak değerlendirmektedir.

Bölmelendirmeyi sürdürmenin yanı sıra, çevresel yangın bariyerleri yangının dikey yönde yayılmasını geciktirerek, dumanın yayılımını azaltarak ve tahliye sırasında üst katlardaki kullanıcıları koruyarak binanın genel dayanıklılığına katkıda bulunur. Bu bariyerlerin rolü, yangının cephe üzerinden hızla yayılmasının, yangınla mücadele operasyonları etkili bir şekilde başlatılmadan önce birden fazla katı yangına maruz bırakabileceği yüksek katlı binalarda özellikle önem kazanmaktadır. Sonuç olarak çevresel yangın bariyeri, modern giydirme cephe sistemleri içerisindeki en kritik pasif yangın koruma elemanlarından biri olarak geniş ölçüde kabul edilmekte ve bu bölümde ele alınan diğer yangın koruma önlemlerinin entegre edildiği temel oluşturmaktadır.



Bina hareketlerine uyum sağlarken yangın bölmelendirmesini yeniden tesis etmek amacıyla döşeme kenarı derzine monte edilen çevresel yangın bariyeri.

4.2 Yangına Dayanıklı Spandrel Koruması

Çevresel yangın bariyerleri, döşeme kenarı derzinde yangın bölmelendirmesinin yeniden tesis edilmesinde temel bir rol oynasa da, tek başlarına yangının dikey yönde yayılmasına karşı tam koruma sağlayamazlar. Yapısal döşemenin hemen üzerinde yer alan **spandrel bölgesi** de bir bölme yangını sırasında yoğun ısıl koşullara maruz kalır. Bu gizli bölge yeterli şekilde korunmazsa, ısı cephe sistemi üzerinden bitişik katlara aktarılabilir ve çevresel derz etkin bir şekilde sızdırmaz hâle getirilmiş olsa bile bina kabuğunun yangına dayanımını tehlikeye atabilir. Bu nedenle çağdaş giydirme cephe sistemleri, genel pasif yangın koruma stratejisinin ayrılmaz bir bileşeni olarak **yangına dayanıklı spandrel korumasını** bünyesinde barındırmaktadır.

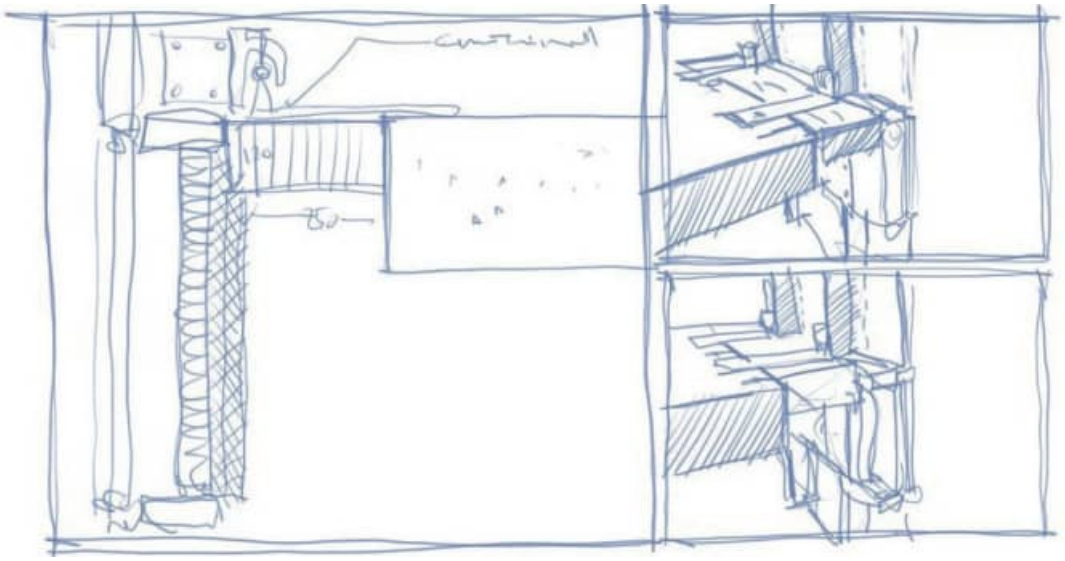
Yangına dayanıklı spandrel korumasının temel işlevi, **gizli cephe boşluğu içerisindeki ısı transferini azaltmak** ve aynı zamanda kritik taşıyıcı ve cephe bileşenlerini doğrudan yangına maruz kalmaya karşı korumaktır. Opak spandrel panelinin arkasına yerleştirilen bu koruyucu katmanlar, giydirme cephe sistemi içerisindeki sıcaklık artışını sınırlayan bir termal bariyer görevi görür. Çerçeve elemanlarına, yapısal ankrajlara, yalıtım malzemelerine ve bitişik cephe elemanlarına ısı iletimini azaltarak spandrel sistemi, uzun süreli yangına maruz kalma sırasında cephenin bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur.

Spandrel korumasının etkinliği yalnızca tek tek malzemelerin yangına dayanımına değil, aynı zamanda bunların komple cephe sistemi içerisindeki entegrasyonuna da bağlıdır. Teknik cephe dokümantasyonu, spandrel bölgesinin tipik olarak yangına dayanıklı yalıtım, koruyucu levhalar, çerçeve elemanları ve çevresel yangın bariyerlerini döşeme kenarını çevreleyen sürekli bir sistem içerisinde bir araya getirdiğini göstermektedir. Bu bileşenler, termal köprüleşmeyi en aza indirmek, bölmelendirmeyi sürdürmek ve yangının gizli geçiş yolları üzerinden yapısal döşemeyi bypass etme olasılığını azaltmak amacıyla birlikte işlev görmektedir.

Spandrel korumasının önemi, döşemeden tavana kadar uzanan camlama sistemlerinin giderek yaygınlaşması ve görünür spandrel yüksekliklerinin azalmasıyla birlikte önemli ölçüde artmıştır. Bu mimari eğilimler şeffaflığı ve gün ışığının içeri girmesini artırırken, gizli yangın koruması için mevcut alanı azaltmakta ve spandrel sisteminin verimliliği üzerindeki gereklilikleri artırmaktadır. Bu nedenle tasarımcılar, yapısal hareketi, ısıl yalıtımı veya mimari görünümü tehlikeye atmadan, giderek daha sınırlı cephe derinlikleri içerisinde yangın performansını en üst düzeye çıkarmak zorundadır.

Bağımsız olarak işlev görmek yerine, yangına dayanıklı spandrel koruması, her kat seviyesinde sürekli bir yangına dayanıklı bina kabuğu oluşturmak üzere çevresel yangın bariyeriyle birlikte çalışır. Bu iki sistem birlikte, hem cephe sistemi içerisindeki ısı transferini hem de döşeme kenarındaki çevresel boşluktan alev ve dumanın geçişini kesintiye uğratır. Bu entegre yaklaşım, her iki elemanın tek başına sağlayabileceğinden

önemli ölçüde daha yüksek bir koruma sağlar ve çağdaş cephe yangın mühendisliğinin temel ilkelerinden birini oluşturur.



Yangın bariyeri, yangın levhası, yalıtım ve giydirme cephe bileşenlerini gösteren entegre yangına dayanıklı spandrel koruma sistemi.

4.3 Taşıyıcı Çerçeve Elemanlarının ve Yapısal Ankraj Sistemlerinin Korunması

Bir giydirme cephe sisteminin yangın performansı yalnızca çevresel yangın bariyerlerinin ve spandrel korumasının etkinliğine değil, aynı zamanda cepheyi taşıyan yapısal bileşenlerin davranışına da bağlıdır. Düşey kayıtlar, yatay kayıtlar, ankraj konsolları ve sabitleme sistemleri, giydirme cephenin taşıyıcı çerçevesini oluşturur; rüzgâr yüklerini ve cephenin kendi ağırlığını binanın ana taşıyıcı sistemine aktarır. Ancak bir yangın sırasında bu bileşenler, mekanik dayanımlarını önemli ölçüde azaltabilecek ve cephe sisteminin stabilitesini etkileyebilecek yüksek sıcaklıklara maruz kalır.

Giydirme cephe taşıyıcı çerçevelerinde en yaygın olarak kullanılan malzeme olan alüminyum, düşük ağırlık, korozyon direnci ve imalat kolaylığı gibi cephe yapımı açısından birçok arzu edilen özelliğe sahiptir. Bununla birlikte, sıcaklık arttıkça mekanik özellikleri hızla azalır. Şiddetli yangın koşullarında aşırı ısınma; termal genleşmeye, çerçeve elemanlarında deformasyona ve yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olabilir. Giydirme cephe genel olarak yük taşımayan bir sistem olmasına rağmen, çerçevesinin deformasyonu camların yerinde tutulmasını, hareket derzlerini ve spandrel bölgesine yerleştirilen pasif yangın korumasının sürekliliğini etkileyebilir.

Yapısal ankraj sistemleri, yangına maruz kalma sırasında cephenin stabilitesinin korunmasında aynı derecede önemlidir. Bu konsollar, giydirme cephe ile taşıyıcı döşeme arasındaki bağlantıyı sağlarken, normal bina işletimi sırasında farklı hareketlere izin verir. Dolayısıyla bunların tasarımı, esneklik ile yapısal bütünlük arasında bir denge sağlamalıdır. Bir yangın sırasında ankraj noktalarında aşırı deformasyon meydana gelmesi hâlinde, bu hareket çevresel yangın bariyeri ile çevresindeki yapı arasındaki teması bozabilir ve bölmelendirme sisteminin etkinliğini azaltabilir. Cephe şartnamesine ait detay çizimleri, çevresel yangın bariyeri, yapısal konsollar, çerçeve elemanları ve spandrel korumasının bağımsız bileşenler olarak değil, entegre bir sistem olarak nasıl düzenlendiğini göstermektedir.

Bu nedenle çağdaş cephe yangın mühendisliği, taşıyıcı çerçeve, ankraj sistemleri ve pasif yangın korumasının eş zamanlı olarak geliştirildiği bütüncül bir tasarım anlayışını benimsemektedir. Mühendisler, münferit elemanları ayrı ayrı korumak yerine, komple cephe sisteminin gerekli yangına maruz kalma süresi boyunca stabilitesini, bölmelendirmesini ve yangına dayanımını korumasını sağlamaya çalışmaktadır. Bu entegre yaklaşım, yerel hasarların ilerleyici cephe hasarına dönüşme olasılığını azaltmakta ve bina kabuğunun genel dayanıklılığına katkıda bulunmaktadır.

4.4 Hareketlerin Karşılanması ve Uzun Vadeli Performans

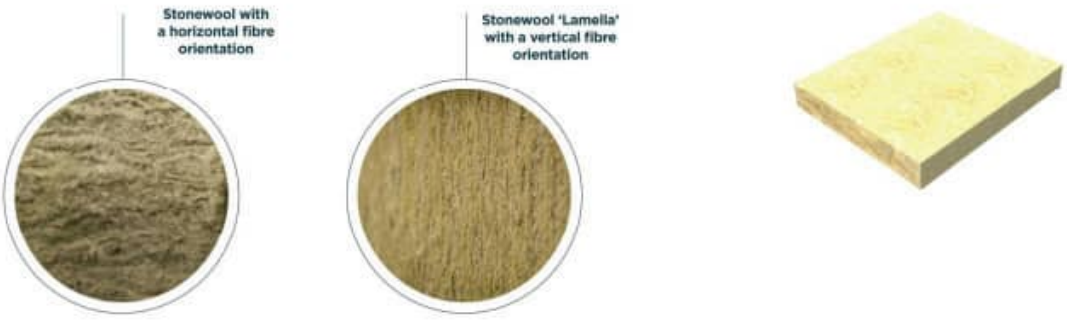
Giydirme cephelerde pasif yangın korumasının etkinliği yalnızca yangına dayanımına değil, aynı zamanda bina işletme ömrü boyunca bu performansı koruyabilme kabiliyetine de bağlıdır. Statik yapı elemanlarına monte edilen birçok pasif yangın koruma sisteminin aksine, çevresel yangın bariyerleri, bina çevresel ve yapısal etkilere tepki verdikçe genişliğinde sürekli değişimler meydana gelen hareket derzlerinin içerisinde yer alır. Bu nedenle hareketlerin karşılanması, modern cephe yangın mühendisliğinde temel bir tasarım gerekliliği hâline gelmiştir.

Bir binanın hizmet ömrü boyunca giydirme cephe sistemleri; termal genleşme ve büzülme, rüzgâr kaynaklı salınım, döşeme plağının sehim yapması, sünme, rötre ve bazı bölgelerde sismik hareketlerden kaynaklanan tekrarlı hareketlere maruz kalır. Bu etkiler, döşeme kenarındaki çevresel boşluk içerisinde döngüsel sıkışma ve genleşmelere neden olur. Yangın koruma sistemi bu hareketleri karşılayamazsa, yangın bariyeri ile çevresindeki yapı arasında ayrılma meydana gelebilir ve yangın sırasında alevlerin, dumanın ve sıcak gazların bölme sınırını aşarak geçmesine olanak sağlayan açıklıklar oluşabilir.

Bu nedenle çağdaş çevresel yangın koruma sistemleri, tekrarlanan hareketlere rağmen **sürekli sıkıştırmalı uyumu** koruyabilen ve tekrar eden hareketlerden sonra ilk şekline geri dönebilen malzemeler kullanılarak tasarlanmaktadır. Sıkışma ve eski şekline geri dönme özelliği, derz genişliğindeki değişikliklere rağmen yangın bariyerinin hem taşıyıcı döşeme plağı hem de giydirme cephe ile sürekli temas hâlinde kalmasını sağlar. Teknik şartname, bu elastik davranışın bölmelendirmenin yalnızca montaj sırasında değil, cephe sisteminin hizmet ömrü boyunca korunması açısından da temel önem taşıdığını açıklamaktadır.

Uzun vadeli dayanıklılık da aynı derecede önemlidir. Çevresel yangın koruma sistemleri, yangına dayanım performansı gösterilmeden önce, normal bina kullanımı sırasında maruz kalınan rüzgâr kaynaklı salınım, termal yükleme ve yapısal hareketlerin etkilerini simüle etmek amacıyla genellikle tekrarlanan mekanik hareket döngülerine tabi tutulur. Bu dayanıklılık değerlendirmeleri, sistemin yalnızca ideal laboratuvar koşulları altında değil, uzun süreli hareket sonrasında da gerekli performans kriterlerini karşılamaya devam ettiğini doğrular. Bu tür değerlendirmeler, pasif yangın korumasının uzun vadeli güvenilirliğinin hem mekanik esnekliğini hem de yangına dayanımını aynı anda koruyabilme kapasitesine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Hareket uyumunun pasif yangın korumasına dâhil edilmesi, cephe mühendisliğinde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Çevre yangın bariyerini rijit bir sızdırmazlık elemanı olarak ele almak yerine, modern tasarım bu bileşeni, bölme sınırının bütünlüğünü korurken binanın hareketine sürekli olarak uyum sağlayan dinamik bir bileşen olarak değerlendirmektedir. Sistem temelli bu yaklaşım, giydirme cephelerin hem güvenilirliğini hem de dayanıklılığını artırmakta ve çağdaş bina tasarımında yaşam döngüsü performansına verilen giderek artan önemi yansıtmaktadır.



Dikey olarak yönlendirilmiş taş yünü (lamel), iyileştirilmiş sıkıştırılabilirlik ve geri kazanım özelliği sağlayarak, çevre yangın bariyerlerinin tekrarlanan bina hareketleri sırasında sürekli bölmelendirmeyi korumasına olanak tanır.

4.5 Entegre Sistem Tasarımı: Cephe Yangın Korumasına Sistem Tabanlı Bir Yaklaşım

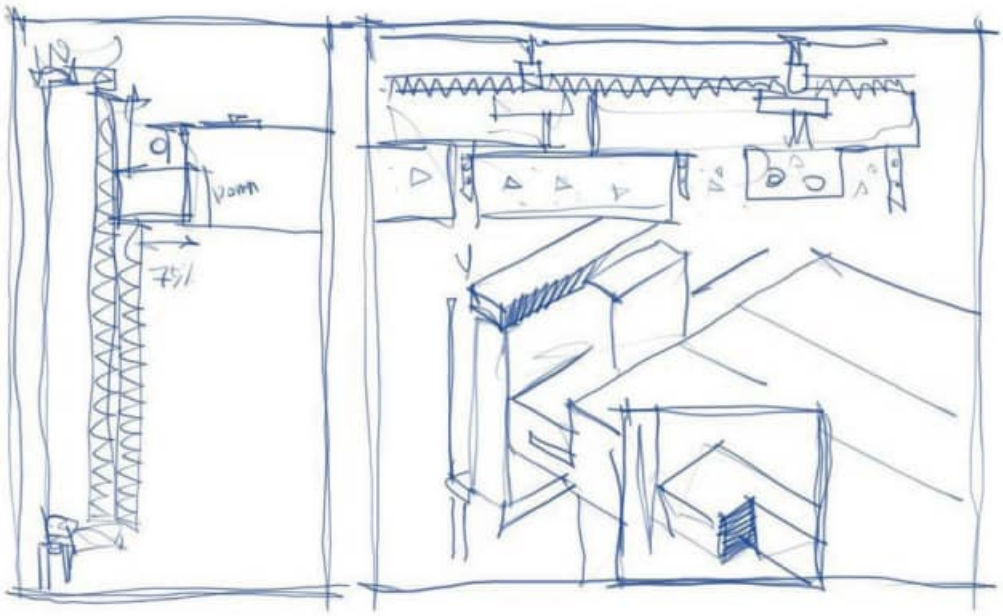
Çağdaş giydirme cephelerin gelişimi, etkili yangın güvenliğinin yalnızca tek tek yangına dayanıklı bileşenlerin montajı yoluyla sağlanamayacağını göstermiştir. Bunun yerine, modern cephe mühendisliği giderek daha fazla **sistem tabanlı bir yaklaşım** benimsemekte; bu yaklaşımda çevre yangın bariyerleri, yangına dayanıklı spandrel koruması, taşıyıcı çerçeve, ankraj sistemleri, ısı yalıtımı ve hareketi karşılayan derzler, tek bir entegre sistem olarak birlikte çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu nedenle cephenin genel yangın performansı yalnızca her bir bileşenin kalitesine değil, aynı zamanda normal kullanım koşulları altında ve yangına maruz kalma sırasında bu bileşenler arasındaki etkileşime de bağlıdır.

Entegre bir cephe sistemi içerisinde her bir bileşen tamamlayıcı bir işlev yerine getirir. Çevre yangın bariyeri, döşeme kenarı birleşiminde yangın bölmelendirmesinin sürekliliğini yeniden sağlarken, korunan spandrel bölümü, gizli cephe boşluğu içerisindeki ısı transferini sınırlar. Taşıyıcı çerçeve elemanları ve ankraj konsolları giydirme cephenin stabilitesini korur; hareketi karşılayan elemanlar ise yangın koruma sisteminin bütünlüğünden ödün vermeden cephenin ısıl genleşmeye, rüzgâr yüklerine ve yapısal sehimlere tepki vermesine olanak tanır. Cephe spesifikasyon dokümantasyonu, bu elemanları bağımsız çözümler olarak değil, koordineli tasarım ve detaylandırmanın önemini vurgulayacak şekilde, eksiksiz bir sistemin birbirine bağlı parçaları olarak tutarlı biçimde sunmaktadır.

Bu entegre tasarım felsefesi, mimari yenilikleri de desteklemektedir. Daha geniş camlı yüzeylere, azaltılmış görünür spandrel yüksekliklerine ve giderek daha karmaşık cephe geometrilerine yönelik talep; dış görünüşü etkilemeden cephenin gizli bölgelerine entegre edilebilen pasif yangın koruma sistemlerini gerekli kılmaktadır. Sonuç olarak yangın güvenliği artık tasarım sürecinin ayrı bir aşaması olarak değerlendirilmemekte, mimari ve mühendislik geliştirme çalışmalarının en erken aşamalarından itibaren tasarıma entegre edilmektedir. Mimarlar, cephe danışmanları, yapı mühendisleri ve yangın güvenliği uzmanları arasındaki erken aşamadaki iş birliği, olası yangın risklerinin inşaat başlamadan önce ele alınmasını sağlayarak, ilerleyen aşamalarda maliyetli tasarım değişikliklerine duyulan ihtiyacı azaltmaktadır.

Sistem tabanlı tasarımın bir diğer önemli avantajı, çağdaş yangın test yöntemleriyle uyumlu olmasıdır. Uluslararası standartlar, bileşenler arasındaki etkileşimin yangın davranışı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu kabul ederek, giderek daha fazla tek tek ürünler yerine komple cephe sistemlerinin performansını değerlendirmektedir. Bu durum, esas olarak izole edilmiş malzemelerin yangına dayanımına odaklanan geleneksel yaklaşımlardan önemli bir sapmayı temsil etmektedir. Cepheyi eksiksiz bir mühendislik sistemi olarak değerlendirerek tasarımcılar, yapı kabuğunun gerçek yangın koşulları sırasında nasıl performans göstereceğine ilişkin daha gerçekçi bir anlayış elde etmektedir.

Modern binaların giderek artan karmaşıklığı, bu bütüncül yaklaşımı giderek daha önemli hâle getirmektedir. Cepheler daha yüksek, daha hafif ve daha şeffaf hâle geldikçe, güvenli ve dayanıklı yapı kabuklarının elde edilmesi için pasif yangın korumasının, yapısal hareketlerin, ısıl performansın ve mimari tasarımın başarılı bir şekilde entegre edilmesi temel bir gereklilik hâline gelmektedir. Bu nedenle bu bölüm boyunca sunulan değerlendirme, entegre pasif yangın korumasının yalnızca koruyucu malzemelerin bir araya getirilmesinden ibaret olmadığını; yangın bölmelendirmesini korurken çağdaş giydirme cephe sistemlerinin işlevsel ve mimari hedeflerini destekleyen koordineli bir mühendislik stratejisi olduğunu göstermektedir.



Çevre yangın bariyeri, spandrel koruması, yalıtım ve taşıyıcı cephe bileşenleri arasındaki etkileşimi gösteren entegre giydirme cephe yangın koruma sistemi.

5. Yangın Testleri ve Performans Değerlendirmesi

Giydirme cephelerin giderek artan karmaşıklığı, pasif yangın koruma sistemlerinin değerlendirilme biçimini temelden değiştirmiştir. Geleneksel yangın test yöntemleri çoğunlukla tek tek malzemelerin veya izole edilmiş yapı elemanlarının yangına dayanımına odaklanmıştır. Ancak çağdaş cephe mühendisliği, bir giydirme cephenin yangın sırasındaki performansının; çevre yangın bariyeri, spandrel koruması, taşıyıcı çerçeve, ankraj sistemleri, camlama ve hareket derzleri dâhil olmak üzere birden fazla bileşen arasındaki etkileşime bağlı olduğunu kabul etmektedir. Sonuç olarak modern yangın testleri, tek tek bileşenleri bağımsız olarak değerlendirmek yerine, komple cephe sisteminin temsili yangın koşulları altında değerlendirildiği **sistem tabanlı bir yaklaşımı** giderek daha fazla benimsemektedir.

En yaygın olarak kabul gören uluslararası standartlar arasında **ASTM E2307**, taşıyıcı döşeme plağı ile giydirme cephe arasına monte edilen entegre çevre yangın bariyeri sisteminin performansını değerlendirerek, döşeme kenarındaki çevre birleşiminin yangına dayanımını değerlendirmektedir. Test, sistemin bölmelendirmeyi koruyup koruyamadığını, alevlerin ve sıcak gazların geçişini sınırlayıp sınırlayamadığını ve gerçekçi bina hareketlerine uyum sağladıktan sonra performansını sürdürüp sürdüremediğini belirlemektedir. Avrupa'da ise **EN 1364-4**, yük taşımayan giydirme cephe sistemlerinin komple cephe sistemleri olarak yangına dayanımını değerlendirerek bu yaklaşımı tamamlamaktadır. Her iki standart da cephe yangın güvenliğinin yalnızca tek tek malzemelerin özellikleri temelinde belirlenemeyeceğini; bunun yerine giydirme cephe sistemi içerisindeki tüm bileşenler arasındaki etkileşimin dikkate alınması gerektiğini kabul etmektedir.

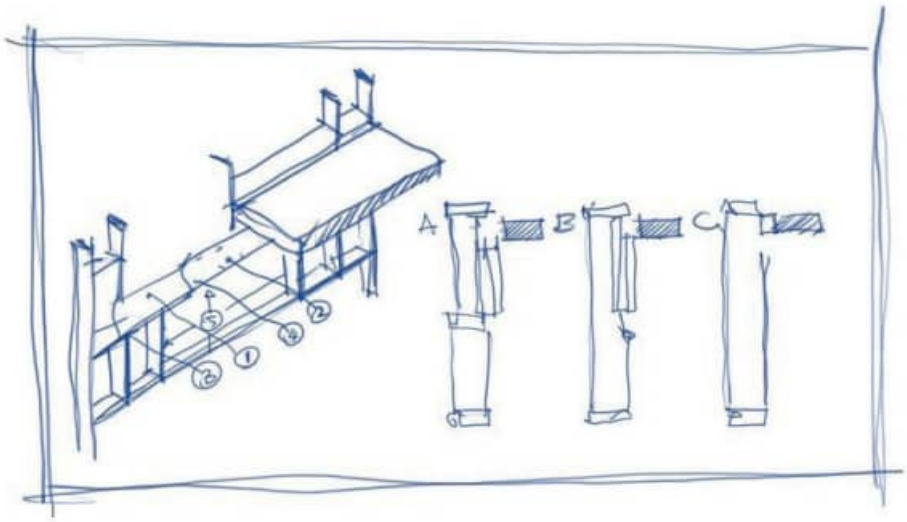
Bu yangına dayanım testlerinin sonuçları, **Bütünlük (E)** ve **Yalıtım (I)** dâhil olmak üzere performans kriterlerini tanımlayan **EN 13501-2** gibi kabul görmüş sınıflandırma sistemleri kullanılarak yorumlanmaktadır. Benzer şekilde, ASTM tabanlı değerlendirmelerde yaygın olarak **F-sınıflandırmaları (F-ratings)** ve **T-sınıflandırmaları (T-ratings)** kullanılmakta olup, bunlar çevre yangın bariyeri sistemlerinin alev nüfuzuna karşı koyma ve ısı transferini sınırlama kabiliyetini göstermektedir. Bu sınıflandırmalar, tasarımcılara ve düzenleyici makamlara farklı cephe sistemlerinin yangın performansını karşılaştırmak ve yürürlükteki yapı yönetmeliklerine uygunluğu göstermek için ortak bir çerçeve sağlamaktadır.

Ürün tabanlı testlerden sistem tabanlı değerlendirmeye geçiş, çağdaş cephe yangın mühendisliğindeki en önemli gelişmelerden birini temsil etmektedir. Yapısal hareketi, ısıl maruziyeti, bileşenler arasındaki etkileşimi ve uzun vadeli dayanıklılığı tek bir değerlendirme kapsamında ele alarak modern test yöntemleri,

yangın sırasında gerçek bina davranışının daha gerçekçi bir şekilde ortaya konulmasını sağlamaktadır. Bu entegre değerlendirme felsefesi, daha güvenli giydirme cephelerin geliştirilmesini desteklerken, mimarların ve mühendislerin yenilikçi ve şeffaf yapı kabuğu tasarımlarını sürdürmelerine olanak tanımaktadır.



ASTM E2307 ve EN 1364-4 Test Konfigürasyonları



Küçük ve sıfır spandrel tasarımlarına sahip giydirme cephe sistemlerinin değerlendirilmesi için ASTM E2307 test konfigürasyonu.



Tam Ölçekli Yangın Testleri

6. Sonuç

Giydirme cephelerin yaygın olarak kullanılması, hafif, şeffaf ve yüksek performanslı yapı kabuklarının oluşturulmasını mümkün kılarak çağdaş mimariyi dönüştürmüştür. Bununla birlikte, bu mimari gelişmeler, özellikle giydirme cephenin taşıyıcı döşeme plağıyla birleştiği döşeme kenarındaki çevre boşluğunda önemli yangın güvenliği sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu inceleme, dikey yangın yayılımının hem cephe boşluğu içerisindeki gizli yollar üzerinden hem de bina cephesi boyunca dıştan alev yayılımı yoluyla meydana gelebileceğini göstermiş ve kapsamlı pasif yangın koruma stratejilerine duyulan ihtiyacı vurgulamıştır.

Bu makale boyunca sunulan analiz, etkili cephe yangın güvenliğinin tek başına kullanılan yangına dayanıklı ürünlerle sağlanamayacağını göstermektedir. Bunun yerine, etkili yangın güvenliği; çevre yangın bariyerlerinin, korunan spandrel sistemlerinin, taşıyıcı çerçevenin, ankraj sistemlerinin ve hareketi karşılayan derzlerin entegre bir mühendislik sistemi olarak işlev gören koordineli etkileşimine bağlıdır. ASTM E2307 ve EN 1364-4 gibi uluslararası test standartları da, tek tek bileşenleri bağımsız olarak değerlendirmek yerine, komple cephe sistemlerinin temsili kullanım ve yangın koşulları altındaki yangın performansını değerlendirerek bu yaklaşımı desteklemektedir.

Mimari eğilimler daha yüksek binaları, daha fazla şeffaflığı ve giderek daha karmaşık cephe geometrilerini desteklemeye devam ettikçe, pasif yangın korumasının cephe tasarımının en erken aşamalarına entegre edilmesi giderek daha önemli hâle gelecektir. Cephe mühendisliğindeki gelecekteki gelişmeler, mimari tasarımdaki yeniliklerin aynı derecede güçlü bir yangın güvenliği performansıyla desteklenmesini sağlamak amacıyla mimarlar, cephe mühendisleri, yapı mühendisleri ve yangın güvenliği uzmanları arasındaki yakın iş birliğini teşvik etmeye devam etmelidir. Sistem tabanlı bir yaklaşım benimsenerek, çağdaş giydirme cepheler mimari mükemmellik ve artırılmış can güvenliği olmak üzere iki temel hedefe başarıyla ulaşabilir.

Kaynakça

- ASTM International. (2023). *ASTM E2307 – Orta Ölçekli, Çok Katlı Test Düzeneği Kullanılarak Çevre Yangın Bariyeri Sistemlerinin Yangına Dayanımının Belirlenmesine Yönelik Standart Test Yöntemi*. West Conshohocken, PA, ABD.
- British Standards Institution (BSI). (2018). *BS EN 1364-4: Yük Taşımayan Elemanların Yangına Dayanım Deneyleri – Giydirme Cephe – Bölüm: Konfigürasyon*. Londra, Birleşik Krallık.
- British Standards Institution (BSI). (2018). *BS EN 13501-2: Yapı Ürünlerinin ve Yapı Elemanlarının Yangın Sınıflandırması – Yangına Dayanım Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma*. Londra, Birleşik Krallık.
- National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 285: Dış Duvar Sistemlerinin Yangın Yayılma Özelliklerinin Değerlendirilmesine Yönelik Standart Yangın Test Yöntemi*. Quincy, MA, ABD.
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 13785-2: Cepheler için Yangına Tepki Deneyleri – Bölüm 2: Büyük Ölçekli Deney*.
- Siderise Group. (2024). *Giydirme Cephe Yangın Durdurma Teknik Kılavuzu*.
- Siderise Group. (2024). *Cephe Yangın Koruması Teknik Şartname Paketi*.
- Birleşik Arap Emirlikleri İçişleri Bakanlığı. (2018). *BAE Yangın ve Can Güvenliği Uygulama Yönetmeliği*. Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat. (2020). *Yüksek Binalar için Cephe Yangın Güvenliği Kılavuzu*.
- Buchanan, A. H., & Abu, A. K. (2017). *Yangın Güvenliği için Yapısal Tasarım* (2. baskı). Wiley.
- Drysdale, D. (2011). *Yangın Dinamiğine Giriş* (3. baskı). Wiley.
- Society of Fire Protection Engineers. (2022). *SFPE Yangından Korunma Mühendisliği El Kitabı* (6. baskı). Springer.

7. KISA ÖZGEÇMİŞ

Meryem Turan

Yüksek Mimar ve Yangın Güvenliği Uzmanı olan Meryem Turan, Mimarlık alanında yüksek lisans derecesine sahiptir. Türkiye, İran ve Orta Doğu genelinde mimari tasarım, proje yönetimi, akademik çalışmalar ve yangın güvenliği alanlarında 25 yılı aşkın köklü bir deneyime sahiptir. Kariyeri boyunca Tarh va Afarinesh bünyesinde seçkin otel projelerinin (Laleh Kish, Parsian Otelleri vb.) tasarım ve yönetim süreçlerini yürütmüş; Şehit Behişti ve Azad Üniversitelerinde akademisyen ve Bölüm Başkanı olarak görev yapmıştır.

Halen İstanbul merkezli Next Co.'nun Kurucu Ortağı ve Genel Müdürü olarak Siderise ve Kent Smoke & Fire Curtains markalarının bölge temsilciliğini üstlenmektedir. Aynı zamanda TÜYAK Cephe ve Perde Komiteleri Üyesi olarak yapılarda pasif yangın durdurucu sistemler, yangın/duman perdeleri ve teknik cephe detay çözümleri konularında danışmanlık hizmeti sunmaktadır.Mimarlık disiplininin yanı sıra geleneksel sanatlara da ilgi duyan Meryem Turan, profesyonel olarak Nesta'lik kaligrafisi (Nestaliq Hat Sanatı) ve Tezhip (Geleneksel Süsleme Sanatı) ile ilgilenmektedir.

Kayhan Turan

Yüksek Mimar ve Yönetici olan Kayhan Turan, Mimarlık alanında yüksek lisans derecesine sahiptir. Türkiye ve İran genelinde mimari tasarım, endüstriyel ürün tasarımı, proje yönetimi ve üst düzey yöneticilik alanlarında 25 yılı aşkın köklü bir deneyime sahiptir.

Kariyeri boyunca İran'ın en kapsamlı turizm ve yaşam projelerinden biri olan Dasht-e Noor Rekreasyon ve Turizm Kompleksi'nde Mimarlık Bölüm Başkanı (Head of Architecture) olarak devasa ölçekli projelerin tasarım ve uygulama süreçlerini yönetmiştir. Ayrıca Smart Group Plastik Sanayi'de CEO olarak görev yapmış; Red Dot ve A' Design Award gibi uluslararası prestijli tasarım ödüllerine layık görülen yenilikçi endüstriyel tasarım ve üretim süreçlerine liderlik etmiştir.

Halen İstanbul merkezli Next Co.'nun Kurucu Ortağı olarak Siderise ve Kent Smoke & Fire Curtains markalarının bölge temsilciliği bünyesinde pasif yangın durdurucu sistemler, yangın/duman perdeleri ve mimari projelerde teknik danışmanlık ve iş geliştirme süreçlerini yürütmektedir. Kayhan Turan, mimari ve yönetmelik odaklı çalışmalarının yanı sıra görsel sanatlarla da yakından ilgilenmekte; profesyonel olarak Resim ve Karikatür alanlarında çalışmalar gerçekleştirmektedir.

TÜRKİYE YANGINDAN KORUNMA VE EĞİTİM VAKFI
TÜYAK

TÜRKİYE YANGINDAN KORUNMA DERNEĞİ
TÜYAK



www.tuyak.org.tr