T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHELERDE YANGIN YAYILIMININ MEVCUT OLAYLAR VE DENEYLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Meltem ÇALIŞKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ

Şubat, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHELERDE YANGIN YAYILIMININ MEVCUT OLAYLAR VE DENEYLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Meltem ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 27.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Ögr. Üyesi Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nuri SERTESER, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yangın Yayılımının Mevcut Olaylar Ve Deneyler Üzerinden İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Meltem ÇALIŞKAN

İmza

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Çalışmanın yürütülmesindeki tüm süreçlerde yanımda olan, sınırsız hoşgörü gösteren, desteğini hiç esirgemeyen, değerli bilgileri ve deneyimleriyle çalışmama ışık tutan ve bana yön veren kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üye. Ezgi KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca juri üyeleri olarak yapıcı eleştirileri ile yardımını esirgemeyen, değerli zamanlarını ayıran kıymetli hocalarım, Doç. Dr. Nuri SERTESER ve Dr. Öğr. Üye. Esra KÜÇÜKKILIÇ ÖZCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek beni her konuda cesaretlendiren başaracağıma inancımı arttıran canım annem ve babama, tez çalışmam süresince bana destek olan ve başarılı olacağıma inancını her daim gösteren değerli eşim Faruk ÇALIŞKAN ve lisans eğitimimin ilk gününden itibaren hep yanımda olan manevi kız kardeşim Ayşe Merve SEVİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Meltem ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xvi

ABSTRACT xvii

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 11

1.3 Hipotez ve Yöntem 12

2 HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHELER VE YANGIN YAYILIM DİNAMİĞİ 14

2.1 Havalandırmalı Giydirme Cephe Türleri 14

2.2 Havalandırmalı Giydirme Cephe Sistemi Malzeme ve Kullanım Şekilleri 22

2.2.1 Kaplama Çeşitlerine Göre Havalandırmalı Giydirme Cepheler 23

2.2.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Isı Yalıtım Ürünleri 40

2.2.3 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Su Yalıtım Ürünleri 43

2.2.4 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Hava ve Nem Bariyerleri 44

2.3 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yapılan Deneyler ve Meydana Gelen Yangınlar Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması 45

2.3.1 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Meydana Gelen Yangınlar Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması 47

2.3.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yapılan Deneyler Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması 66

3 HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHE SİSTEMİNDE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDART VE YÖNETMELİKLER KAPSAMINDA İNCELENMESİ 94

3.1 İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B Volume 1-2) 94

3.2 Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik 98

3.3 Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAE Civil Defence Fire Code) 100

3.4 Avustralya Yangın Yönetmeliği (National Construction Code, NCC) 105

3.5 İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29) 109

3.6 Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000) 113

4 HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHE SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA MEYDANA GELEN YANGINLARIN, YANGIN YÖNETMELİKLERİ VE DENEYLER KAPSAMINDA KARŞILAŞTIRILMASI 131

4.1 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Malzemeler ve Yangın Yayılımına Etkileri 145

4.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Meydana Gelmiş Yangın Olaylarında Yer Alan Cephe Detaylarının Yönetmeliklerle Kıyaslanarak Değerlendirilmesi 152

5 SONUÇ VE ÖNERİLER 159

KAYNAKÇA 168

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 190

SİMGE LİSTESİ

$°C$	Celcius Degree
dk	Dakika
kW	KiloWatt
m	Metre
m	Metrekare
mm	Milimetre
cm	Santimetre

KISALTMA LİSTESİ

ACM	Aluminium Composite Material
ACP	Aluminium Composite Panel
ADB	Approved Document B
BBR	Boverket's Building Regulations
NAMBA	North American Modern Building Alliance
BRE	Building Research Establishment Ltd
EN	European Norm
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber
EPS	Expanded Polystyren Foam
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
GFRC	Glass Fiber Reinforced Concrete
GRP	Glass-reinforced Plastic
HRR	Heat Release Rate
MCM	Metal Composite Panel
MW	Mineral Wool
NCC	National Construction Code
NFPA	National Fire Protection Assosiation, A.B.D.
PE	Polyethylene
PIR	Poliizosiyanurat
PUR	Polyurethane Foam
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UAE	United Arab Emirates
XPS	Extruded Polystyrene

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 1990 -2019 yılları arasında her beş yılda bir meydana gelen toplam cephe yangını adet sayısı grafiği (Bonner vd., 2020) 2
Şekil 1.2 1990-2019 yılları arasında yüksek katlı binalarda meydana gelen cephe yangınlarının küresel dağılım grafiği (NAMBA, 2021) 2
Şekil 1.3 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınlarındaki farklı cephe türlerinin yüzdelik dağılımı (Çalışkan&Korkmaz, 2023) 6
Şekil 1.4 2022-2027 yılları arası tahmini cephe türleri dağılımı (EMR, 2021) 6
Şekil 1.5 Havalandırmalı giydirme cephe sistemi perspektif detay çizimi (Çalışkan, 2023) 7
Şekil 1.6 a) Yaz aylarındaki baca etkisi b) Kış aylarındaki baca etkisi (Recatala, 2017'den uyarlanmıştır) 7
Şekil 2.1 Havalandırmalı giydirme cephe sistem kurgusu (Çalışkan, 2023) 14
Şekil 2.2 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminin perspektif detay çizimi (Çalışkan, 2023) 15
Şekil 2.3 Havalandırmalı giydirme cephe sistemi kesit çizimi (Çalışkan & Korkmaz, 2023) 15
Şekil 2.4 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde güneş ışınımı şeması (Stonesize, n.d.'den uyarlanmıştır) 16
Şekil 2.5 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde yapı içi sıcaklığın sabitlenmesi (Chu & Straube, 2015). 17
Şekil 2.6 Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe (PER) sistemi kesitleri (Çalışkan, 2023) 18
Şekil 2.7 Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe (PER) sistemi a)kesit ve b)plan (Çalışkan, 2023) 18
Şekil 2.8 a)Drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe sistemi tipik kesit çizimi b) Drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe sistemi tipik plan çizimi (Çalışkan, 2023) 20
Şekil 2.9 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (Canadian Masonry Contractors Association, n.d) 24
Şekil 2.10 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe derz çeşitleri (Canadian Masonry Contractors Association, n.d) 25
Şekil 2.11 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe drenaj delikleri ve kapatma malzemesi (Koester, 2014; Inspectapedia, n.d.) 25
Şekil 2.12 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephenin a)CMU beton strüktüre b) beton strüktüre c) çelik strüktüre d) ahşap strüktüre montajı kesit çizimleri (Young, vd, 2018) 26
Şekil 2.13 Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Taylor Maxwell, n.d) 27
Şekil 2.14 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe a)profil bağlantı sistemi (Stonite, n.d.) b)tırnak sistemi (Axis Cephe, n.d.) c)noktasal bağlantı sistemi (Hastas, n.d.) 28
Şekil 2.15 HPL kaplama paneli katmanları (Arsenault, 2021) 29
Şekil 2.16 HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Realit, n.d.) 29
Şekil 2.17 HPL panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistemi a) görünür bağlantı b) gizli bağlantı montaj detayı (Realit, n.d.) 30
Şekil 2.18 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Swiss Facades, n.d.) 31

Şekil 2.19 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe a)perçinli montaj b) gizli montaj (Swiss Facades, n.d.) 32
Şekil 2.20 Seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (AGS Metal, n.d.) 33
Şekil 2.21 Çift katmanlı cephe panelinde a) beton ve gaz betonun b) beton ve tuğlanın c) beton ve mineral yünlerin kullanımı (Altınay, 2011) 35
Şekil 2.22 Cam elyaf katkılı prekast beton cephe paneli (Altınay, 2011) 35
Şekil 2.23 Çok katmanlı panel, a)dış katman, b)ısı yalıtımı, c)dış katman (Altınay, 2011) 36
Şekil 2.24 Prekast beton panel drenajlı iki aşamalı sızdırmazlık derzi (Hachborn vd., 2017) 36
Şekil 2.25 Prekast panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Straube, 2020). 37
Şekil 2.26 Cam kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Aliva, n.d.) 40
Şekil 2.27 Havalandırmalı giydirme cephede yangın yayılım senaryoları a) boşluksuz cephe üzerinde yangın yayılımı b) boşluklu cephe üzerinde yangın yayılımı c) spandrel bölge üzerinde yangın yayılımı (Çalışkan & Korkmaz, 2023) 46
Şekil 2.28 Water Club binası yangın anı ve yangın durdurulduktan sonra çekilen cephe fotoğrafları (Folley, 2010) 47
Şekil 2.29 TVCC Tower binasının yangından önce ve sonraki fotoğrafları (Peng vd., 2013) 48
Şekil 2.30 TVCC Tower cephe sistemi diyagramı (Pasternack, 2007) 48
Şekil 2.31 TVCC Kulesi alev yayılım diyagramı (Kanan & Beyhan, 2013) 49
Şekil 2.32 Wooshin Golden Suits yangın anından ve yangın sonrasından fotoğraflar (FFSA, n.d.; Taejin & Soo-young, 2010) 50
Şekil 2.33 Wooshin Golden Suites yangın yayılımı (Kim vd., 2011) 50
Şekil 2.34 Wooshin Golden Suits cephe sistem kesiti (Kim vd., 2011) 51
Şekil 2.35 Polat Tower binasının yangın öncesi, anı ve sonrası fotoğrafları (Mimdap, n.d.; Goodenough, 2012) 51
Şekil 2.36 Polat Tower yangın yayılımı CFD modellemesi (Alkazar, 2012) 52
Şekil 2.37 Polat Tower binasının yangın ilerleyiş diyagramı (Küçük, 2012) 52
Şekil 2.38 Polat Tower cephe sistem kesiti (Çalışkan & Korkmaz, 2023) 52
Şekil 2.39 Mermoz Tower binasının yangın esnasında ve sonrasındaki fotoğrafları (Dosne, 2021) 53
Şekil 2.40 Mermoz Tower yangın yayılım şeması (Dosne, 2021) 53
Şekil 2.41 Mermoz Tower a) cephe sistem kesiti b) balkon cephesi sistem kesiti (Çalışkan & Korkmaz, 2023) 54
Şekil 2.42 Tamweel Tower yangını (White vd., 2015) 55
Şekil 2.43 Tamweel Tower alüminyum kompozit kaplama katmanları (Graphic News, n.d.) 55
Şekil 2.44 Grozny-City Tower'ın yangın esnasından ve sonrasından görüntüler (Russia Former Soviet Union, n.d.) 56
Şekil 2.45 Lacrosse building yangın simülasyonu (Abc News, n.d.) 56
Şekil 2.46 Lacrosse building a) cephe sistem kesiti ve b) cephe kaplama sistemi (Çalışkan & Korkmaz, 2023; Badrock & Bryant, 2014; NAMBA, 2021) 57
Şekil 2.47 Lacrosse building balkon bölgesi tasarımı ve yangın hasarı tespiti (Badrock & Bryant, 2014; Faudzi & Dodd, 2021) 58

Şekil 2.48 Grenfell Tower'da alevlerin cephe sisteminde ilerleyiş diyagramı (Parker, 2017) 59
Şekil 2.49 Grenfell Tower doğu cephesi düşey yangın yayılımı aşama 1a (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019) 60
Şekil 2.50 Grenfell Tower doğu cephesi düşey yangın yayılımı aşama 2 (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019) 60
Şekil 2.51 Grenfell Tower'ın tüm cephelerinde meydana gelen yatay yangın yayılım şeması (PA Graphics, 2018) 61
Şekil 2.52 Grenfell Tower'da alevlerin cephedeki hava boşluğundaki ilerleyişi (Lane, 2018) 62
Şekil 2.53 Grenfell tower havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (Çalışkan&Korkmaz, 2023) 62
Şekil 2.54 Grenfell Tower cephe sistemindeki yangın bariyerleri için yerleşim şemasındaki proje farklılıkları (Lane, 2018) 63
Şekil 2.55 Deney sırasında çekilen fotoğraflar (Numune 1: hava boşluksuz cephe, Numune 2: hava boşluklu cephe) (McNamee vd., 2016) 70
Şekil 2.56 Deney düzeneği yan görünümü (Livkiss vd., 2018) 71
Şekil 2.57 Havalandırmalı giydirme cephe sistemine sahip deney serisi II'nin aynı dakikada sırasıyla 100mm, 60mm, 50mm, 40mm, 30mm, 20mm hava boşluklarındaki yangın yayılım dinamiği (Livkiss vd., 2018) 72
Şekil 2.58 a) Al-45 Class 0'ın EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı, b) Al-45 Class 0'ınn EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı, c) Al-45 Class B'nin EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı (Sharma & Mishra, 2021) 74
Şekil 2.59 Al-43'ün farklı boşluk genişliğine sahip numunelerinde alev yüksekliklerinin karşılaştırılması (Sharma & Mishra, 2021) 76
Şekil 2.60 a) ACM-FR kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı, b) ACM-A2 kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı, c) ACM-PE kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı (Guillaume vd., 2018). 79
Şekil 2.61 Deney düzeneği 2, 4, 5, 6, 7'nin yatay bariyer konumları (cm) (Colic & Pecur, 2020). 81
Şekil 2.62 Deney düzeneği 2, 4, 6'nın plan çizimi ve deney düzeneği 2, 4, 5, 7'nin kesit çizimi (cm)(Colic & Pecur, 2020). 82
Şekil 2.63 a)15. dakika b) 30. dakika ve c) deneyden sonra numuneler (Colic & Pecur, 2020). 82
Şekil 2.64 Deney numunesi duvar kesiti (Jones vd., 2021) 84
Şekil 2.65 Deneylerden sonra cephe durumları a) ACM-A2+MW, b) ACM-A2+PF, c)ACM-A2+PIR (Jones vd., 2021). 86
Şekil 2.66 Deney düzeneği 1,3,5,7 yangın bariyeri planı ve görünüşü (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 7, 2017). 88
Şekil 2.67 Deney düzeneği 2,4,6 yangın bariyeri planı ve görünüşü (DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 6, 2017). 88
Şekil 2.68 a) Deney düzeneği 1, 3, 5, 7'nin panel yerleşim şeması b) Deney düzeneği 2, 4, 6'nın panel yerleşim şeması (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017). 89

Şekil 2.69 Sırasıyla deney düzeneği 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7'nin deney bitimindeki hasar durumu (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017). 91
Şekil 3.1 Onaylanmış Belge B İngiltere Yangın Yönetmeliğine göre yangın durdurucu ve boşluk bariyeri konumları (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022) 98

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınları 3
Tablo 2.1 Basınç dengeli ve drenajlı/ havalandırmalı giydirme cephe sistemleri arasındaki farklar 21
Tablo 2.2 Yangının cephede var olma ve yayılma senaryoları (BRE, 2019; Rukavina, 2017; Yaman, 2018) 45
Tablo 2.3 1990-2021 yılları arasında meydana gelen havalandırmalı giydirme cephe yangınları değerlendirme tablosu 65
Tablo 2.4 W.Taylor deney analiz tablosu (Taylor & Choi ,1984) 67
Tablo 2.5 McNamee deney düzeneklerinin özellikleri ve yanma odasının 750 mm, 2100 mm ve 4800 mm üzerinden ölçülen maksimum sıcaklık değerleri (McNamee vd., 2016) 69
Tablo 2.6 Livkiss ve ark. deney düzeneği özellikleri (Livkiss vd., 2018) 71
Tablo 2.7 Sharma ve Mishra deney düzeneği özellikleri (Sharma & Mishra, 2021) 73
Tablo 2.8 Sharma ve Mishra hava boşluklu ve boşluksuz deney düzeneklerinde sıcaklık, ortalama alev yüksekliği, kütle yanma hızı ve ısı yayma oranı (Sharma & Mishra, 2021'den düzenlenmiştir) 74
Tablo 2.9 Sharma ve Mishra hava boşluklu deney düzeneklerinde ortalama alev hızı, alev yüksekliği ve alevin boşluktan görülme süresi (Sharma & Mishra, 2021'den düzenlenmiştir) 75
Tablo 2.11 Guillaume ve ark. deney düzeneklerinde alev yayılım tablosu (Guillaume vd., 2018'den düzenlenmiştir) 79
Tablo 2.12 Guillaume ve ark. deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Guillaume vd., 2018'den uyarlanmıştır) 80
Tablo 2.13 Colic ve Pecur deney düzenekleri malzeme ve montaj tablosu (Colic & Pecur, 2020'den düzenlenmiştir) 82
Tablo 2.14 Colic ve Pecur deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Colic & Pecur, 2020) 83
Tablo 2.15 Jones ve arkadaşlarının deney düzenekleri yalıtım ve kaplama panellerinin kombinasyonları (Jones vd., 2021) 85
Tablo 2.16 Jones ve arkadaşlarının deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Jones vd., 2021) 86
Tablo 2.17 DCLG deneyleri deney düzenek kombinasyonları (DCLG Test-1; DCLG Test-2; DCLG Test-3; DCLG Test-4; DCLG Test-5; DCLG Test-6; DCLG Test-7) 87
Tablo 3.1 Avustralya yangın yönetmeliği kapsamında bina sınıfları yangın riski sınıflandırması (NCC, 2019) 106
Tablo 3.2 Boşluk bariyeri yangın dayanım gerekliliği (NCC, 2019) 108
Tablo 3.3 A ve B sınıfı yapılarda yapı elemanları yangına dayanım süreleri(dk) (NCC, 2019) 107
Tablo 3.4 Cephelerin arasındaki mesafeye göre maksimum ısı akışı değerleri (NCC, 2019) 107
Tablo 3.5 BBR yönetmeliği inşaat sınıflarının genel tanımı (BRR 29, 2021) 110
Tablo 3.6 BBR yönetmeliği yapı sınıflarının genel tanımı (BRR 29, 2021) 110
Tablo 3.7 NPFA 5000 yönetmeliği bina sınıflandırması (NFPA 5000, 2021) 113
Tablo 3.10 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe kaplama malzemelerinin değerlendirmesi 121

Tablo 3.11 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi 124
Tablo 3.12 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yangın bariyerlerinin değerlendirilmesi 126
Tablo 3.13 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre boşluk bariyerinin değerlendirilmesi 127
Tablo 3.14 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe açıklıklarının değerlendirilmesi 128
Tablo 4.1 1990-2021 yılları arasında meydana cephe yangınları (dokuz farklı olay) ve literatürden elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması 132
Tablo 4.2 Water Club Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 135
Tablo 4.3 Water Club Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 136
Tablo 4.4 TVCC Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 137
Tablo 4.5 TVCC Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 137
Tablo 4.6 Wooshin Golden Suit yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 138
Tablo 4.7 Wooshin Golden Suit yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 138
Tablo 4.8 Polat Tower ve Mermoza Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 139
Tablo 4.9 Polat Tower ve Mermoza Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu ... 139
Tablo 4.10 Tamweel Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 140
Tablo 4.11 Tamweel Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 140
Tablo 4.12 Grozny-City Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 141
Tablo 4.13 Grozny-City Tower Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 141
Tablo 4.14 Lacrosse Building yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 142
Tablo 4.15 Lacrosse Building yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 142
Tablo 4.16 Grenfell Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu 143
Tablo 4.17 Grenfell Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu 144
Tablo 4.18 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 146
Tablo 4.19 Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 146
Tablo 4.20 HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 147
Tablo 4.21 Cam kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 147
Tablo 4.22 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 148

Tablo 4.23 Seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 148
Tablo 4.24 Prekast beton panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 149
Tablo 4.25 Metal panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri 149
Tablo 4.26 Havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde kullanılan ısı yalıtım malzemeleri özellikleri 150
Tablo 4.27 Havalandırmalı giydirme cephelerde su, hava, nem yalıtımı için kullanılan malzemelerin yangın sınıfı ve yangına tepkisi 150
Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olaylarında yer alan cephe detaylarının yönetmeliklerle kıyaslanması 153

ÖZET

Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yangın Yayılımının Mevcut Olaylar ve Deneyler Üzerinden İncelenmesi

Meltem ÇALIŞKAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ

Yangın olayı, yaralanmalara, can kayıplarına ve büyük maddi kayıplara sebebiyet verebilen, yapıyı ve kullanıcıları kısa sürede etkisi altına alan bir afettir. Özellikle yüksek katlı ve giydirme cepheli yapılarda yangının cephe boyunca kısa sürede hızla yayılması yapı ve kullanıcılar açısından tehlike oluşturmaktadır. Son yıllarda, cephe yangınlarının çoğunun havalandırmalı giydirme cephelerde (rainscreen) meydana gelmesi ve tehlikeli sonuçlar doğurması binaların cephe tasarımında yangın güvenliği açısından eksiklikler olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan incelemelerde 2010 ve 2021 yılları arasında incelenen 41 adet cephe yangınından 21 tanesinin havalandırmalı giydirme cephelerde meydana geldiği ve tüm cephelerin % 51 gibi büyük bir oranı temsil ettiği tespit edilmiştir.

Havalandırmalı cephelerde yangın yayılımını ortaya koymak amacı ile yapılan akademik – deneysel çalışmalar incelendiğinde ise yapılan çalışmaların gerçek zamanlı mevcut yangın olaylarında gözlemlenen çevresel koşulları barındırmadığı, deneyler ile elde edilen sonuçların literatürde farklı çalışmalarda bulunduğu, deneylerin yer aldığı her bir çalışmanın havalandırmalı giydirme cephenin belirli bir özelliğine odaklandığı, deney sonuçlarının gerçek zamanlı yangın olayları ile ne derece örtüştüğünün ortaya koyulmadığı görülmüştür. Bu nedenle kaplama ve

yalıtım malzeme türleri, havalandırma boşluk genişliği, taşıyıcı sistem türü farklı tiplerde olabilen bu cephelerde doğru bir şekilde yangın güvenlikli tasarım yapabilmek için yangın yayılım dinamiğinin geniş kapsamda incelenerek anlaşılması ve konunun bütüncül olarak ele alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Çalışmada, havalandırmalı cephe türünde meydana gelmiş gerçek zamanlı yangın olaylarından elde edilen veriler ile akademik çalışmalar kapsamında yapılan yangın yayılım deneyleri incelenip değerlendirilmiştir. Çevresel etmenlerin birçoğunun bulunmadığı yalıtımlı laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları ile farklı çevresel etmenlere sahip gerçek zamanlı yangınların yayılım dinamikleri karşılaştırılmış ve deneyler ile gerçek zamanlı olayların ne derece örtüştüğü ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu veriler ile havalandırmalı cephe türü kullanımının yaygın olduğu ülkelerden; İngiltere, Amerika, Birleşik Arap Emirlikleri, İsveç, Avustralya'nın yangın yönetmelikleri ve Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelikler incelenmiştir. Tüm bu çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda havalandırmalı giydirme cephelerde yangın yayılım dinamiği ve değişkenleri ortaya koyularak, yangın güvenlikli havalandırmalı cephe tasarımı kapsamında alınacak önlemlerin neler olduğu ile ilgili öneriler sunulmuştur. Çalışmada, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında havalandırmalı giydirme cephelerde 1990 ile 2021 yılları arasında meydana gelmiş olan yangın olayları incelenmiş, ancak meydana gelmiş gerçek zamanlı havalandırmalı cephe yangınları ile ilgili yapılan araştırmalarda ve yangın raporlarında yeterli bilgiye erişilememesi veya itfaiye raporlarına ulaşılamaması sonucunda tüm havalandırmalı giydirme cephe yangınları değerlendirme kapsamına alınamamıştır. Bu kapsamda, inceleme ve kıyaslamalar yeterli bilgiye ulaşılabilen gerçek zamanlı havalandırmalı giydirme cephe yangınları ile sınırlandırılmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmanın, cephe tasarımında bütüncül bir yaklaşımla doğru malzeme seçimi, doğru detaylandırma ve uygulama konusunda tasarımcılara ve uygulayıcılara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Havalandırmalı giydirme cephe, cephe yangını, hava boşluğu

ABSTRACT

Investigation of Fire Propagation in Rainscreen Cladding Systems on Current Incident and Experiments

Meltem ÇALIŞKAN

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ezgi KORKMAZ

A fire incedent is a disaster that can cause injuries, loss of life and a lots of financial losses, and that affects the building and the users in a short time. Especially in high-rise building with curtain wall buildings, the rapid spread of fire along the facade in a short time poses a danger to the building and users. In recent years, the fact that most of the facade fires occur on rainscreen cladding facades and have dangerous consequences reveals that there are deficiencies in the facade design of buildings in terms of fire safety. In the examinations made, it was determined that 21 of the 41 facade fires examined between 2010 and 2021 occurred in ventilated curtain walls and all facades represented a large rate of 51%.

When the academic-experimental studies conducted with the aim of revealing the fire spread in ventilated facades are examined, it is seen that the studies do not include the environmental conditions observed in real-time existing fire incidents, the results obtained with the experiments are found in different studies in the literature, each study that includes the experiments focuses on a specific feature of the ventilated facade, It has been observed that the extent to which the test results overlap with the real-time fire incidents has not been revealed. For this reason, it has emerged that the dynamics of fire spread should be analyzed and understood in a comprehensive manner in order to be able to design fire-safety correctly on these

facades, which can be of different types, such as cladding and insulation material types, ventilation gap width, structure system type, and that the issue should be handled holistically.

In the study, data obtained from real-time fire incidents that occurred in ventilated facade types and fire spread tests conducted within the scope of academic studies were examined and evaluated. The results of the experiments carried out in an insulated laboratory environment, where most of the environmental factors are absent, were compared with the spread dynamics of real-time fires with different environmental factors, and the extent to which the experiments and real-time incidents overlap was tried to be revealed. With these data, from countries where the use of ventilated facade type is common; the fire regulations of England, America, United Arab Emirates, Sweden and Australia were compared with the Turkish Regulation on the Protection of Buildings from Fire. In line with the information obtained from all these studies, fire spread dynamics and variables in ventilated facades are revealed and suggestions are made about the precautions to be taken within the scope of fire-safe ventilated facade design.

In the study, fire incedent that occurred between 1990 and 2021 on rainscreen cladding facades within the scope of passive fire safety measures were examined. However, in the researches and fire reports on real-time ventilated facade fires, sufficient information could not be accessed or firefighter reports could not be reached. As a result, not all ventilated facade fires were included in the assessment. In this context, the examinations and comparisons in the study are limited to real-time ventilated facade fires, for which sufficient information can be obtained.

It is thought that the study conducted within the scope of the thesis will guide designers and practitioners in choosing the right material, correct detailing and application with a holistic approach in facade design by revealing the ventilated facade system behavior during a possible fire incident.

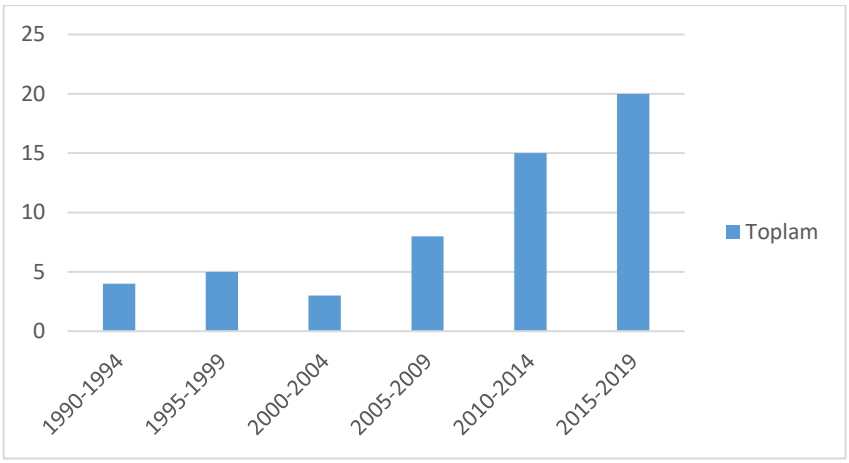
Keywords: Ventilated curtain wall, facade fire, air gap

1
GİRİŞ

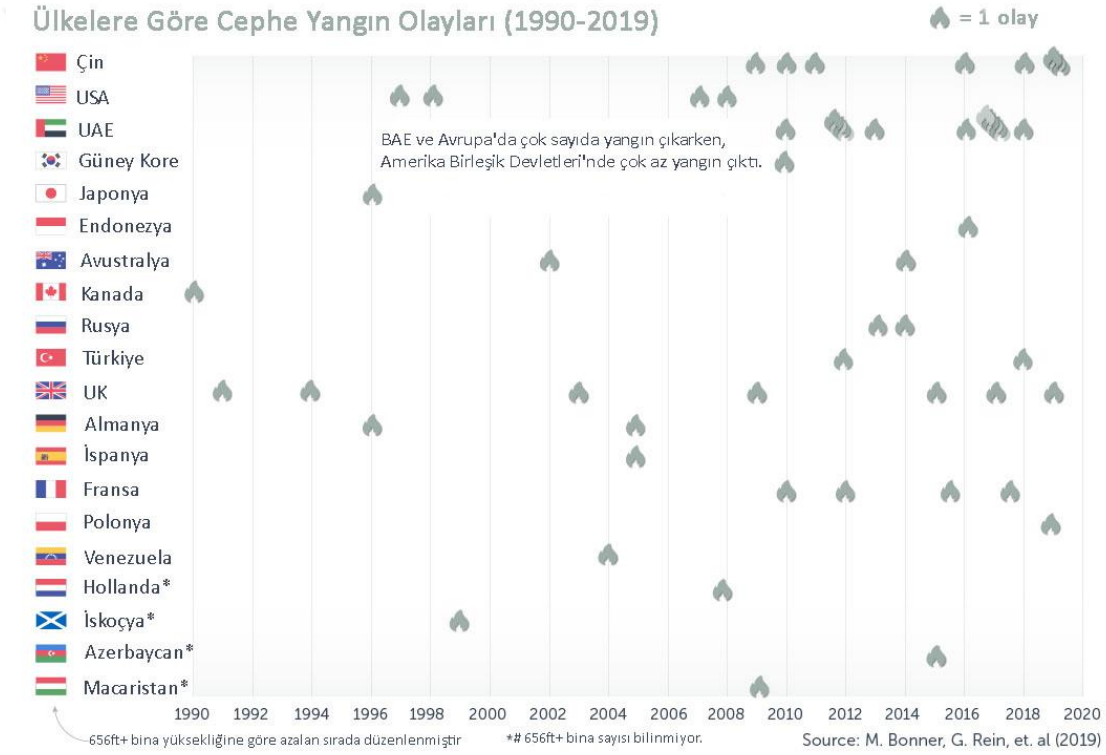
1.1 Literatür Özeti

Cephe, binanın dış ortamdan ayrılmasını sağlayan bir yapı bileşenidir (Martinsson, 2018; Nguyen, 2016). Bir binanın mimari dili dışarıdan bakan için cephe ile belirlenmekte ve bu yüzden görsel olarak önem arz etmektedir. Fakat iyi bir cephe, binanın konfor koşullarını oluşturmakla da yükümlüdür (Yaman, 2018). Cephede kullanılacak malzemelerin seçilmesi ve cephenin biçimlenmesi; ısısal, işitsel ve görsel konfor için önem arz etmektedir (Sözen, 2001). Bina Araştırma Kuruluşu'nun (Building Research Establishment, BRE) 2019 yılında yayınlamış olduğu İskan, Topluluklar ve Yerel Yönetimler Bakanlığı Nihai Araştırma Raporu'na (Minisrty of Housing, Communities and Local Government Dinal Research Report) göre son yıllarda; ısı yalıtımının, sürdürülebilirliğin ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik olarak enerji tasarrufu sağlama talebi daha fazla artmaktadır. Bu talep ve gelişen teknoloji ile birlikte cephede kullanılan malzeme çeşitliliği ve cephe katmanları da artmıştır. Literatür araştırmalarında ve cephe projelendirmelerinde ısı kaybını en aza indirgeme ve iklim koşullarına dayanıklı binaların tasarlanması çokça dikkate alınırken, cephelerde yangın güvenliği konusunun yeterince ele alınmaması geçmişte büyük cephe yangınlarının meydana gelmesiyle sonuçlanmıştır.

Şekil 1.1'de Bonner ve Rein'in 2020'de yapmış olduğu araştırmaya göre her beş yılda bir tespit edilen cephe yangın sayılarının 2010 yılından itibaren diğer yıllara göre daha fazla artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca Kuzey Amerika Modern Bina Birliği'nin (North American Modern Building Alliance, NAMBA) yapmış olduğu çalışmada, ülkelere göre 1990-2019 yılları arasında meydan gelen cephe yangınlarına bakıldığında 2010 yılından itibaren yukarı doğru belirgin bir artış olduğu gözlemlenebilmektedir (Şekil 1.2). Bu duruma, ön üretimli panel cephe sistem kullanımının 2010'lu yıllardan itibaren yaygınlaşması, cephe imalatlarında önemli bir kalite artışı olması ile malzemeye ulaşımın kolaylaşması ve malzeme çeşitliliğinin artması (Kuran, 2017) sebep olarak gösterilebilir.



Şekil 1.1 1990 -2019 yılları arasında her beş yılda bir meydana gelen toplam cephe yangını adet sayısı grafiği (Bonner vd., 2020)



Şekil 1.2 1990-2019 yılları arasında yüksek katlı binalarda meydana gelen cephe yangınlarının küresel dağılım grafiği (NAMBA, 2021)

Meydana gelen bu yangınların hangi tür cephelerde meydana geldiğinin bilinmesi tasarım aşamasında alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle 2010-2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangın olayları cephe sistemi türleri ile birlikte Tablo 1.1'de listelenmiştir.

Tablo 1.1 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınları

No	Bina Adı	Bina Kullanım Sınıfı	Kat Sayısı	Ülke	Yangın Yılı	Cephe Sistemi	Ölüm/ Yaralı Sayısı
1	Residential Building	Konut	28	Şanghay / Çin	2010	ETICS	58 konut/ 71 kişi
2	Al Kuwait Tower	İş merkezi	15	Sharjah/ Birleşik Arap Emirlikleri	2010	Bilinmiyor.	0/6
3	Wooshin Golden Suites	Karma kullanım	38	Busan/ Güney Kore	2010	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/5
4	Jiaozhou Road	Konut	28	Şangay/ Çin	2010	Bilinmiyor.	53/90
5	Residential Building	Konut	-	Dijon/Fransa	2010	EIFS	7/11
6	Office Building	İş merkezi	-	Bucharest/ Romanya	2011	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
7	Polat Tower	Konut	44	Türkiye/ İstanbul	2012	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
8	Mermoz Tower	Konut	18	Roubaix/ Fransa	2012	Havalandır-malı Giydirme Cephe	1/ 6
9	Tirgu Mures	Konut	-	Romanya	2012	ETICS	Bilinmiyor
10	Tamweel Tower	Karma kullanım	34	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2012	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/0
11	Al Tayer Tower	-	-	Sharjah/ Birleşik Arap Emirlikleri	2012	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
12	Grozny-City Towers	Karma kullanım	40	Çeçenistan/ Rusya	2013	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/0
13	Al Hafeet Tower 2	Karma kullanım	20	Sharjah/ Birleşik Arap Emirlikleri	2013	Bilinmiyor.	0/ Bilinmiyor
14	Krasnoyars Apartments	Konut	25	Krasnoyars Rusya	2014	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/ Bilinmiyor
15	Lacrosse Building	Karma kullanım	23	Melbourne/ Avustralya	2014	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/ Bilinmiyor

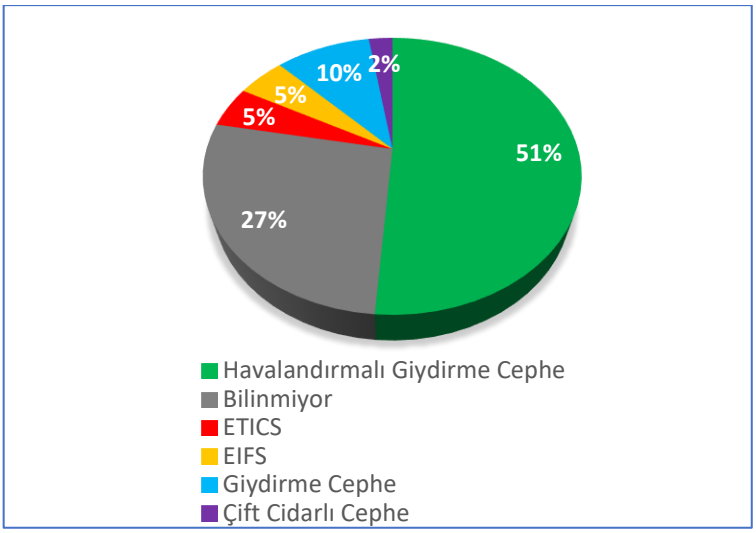
Tablo 1.1 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınları (devamı)

No	Bina Adı	Bina Kullanım Sınıfı	Kat Sayısı	Ülke	Yangın Yılı	Cephe Sistemi	Ölüm/ Yaralı Sayısı
16	The Marina Torch	Konut	79	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2015& 2017	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/7
17	Al Nasser Tower	Karma kullanım	32	Sharjah/ Birleşik Arap Emirlikleri	2015	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/40
18	Ream Island	-	-	Abu Dhabi	2015	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
19	Baku Residential Flats	Konut	16	Bakü/ Azerbeycan	2015	Havalandır-malı Giydirme Cephe	17/60
20	Keşan Devlet Hastanesi	Sağlık	7	Edirne/Türkiye	2016	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
21	Saif Belhasa Building	Konut	13	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2016	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/ 2
22	Address Downtown Hotel	Karma kullanım	63	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2016	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/14
23	Ajman One Complex	Konut	30-36	Ajman/ Birleşik Arap Emirlikleri	2016	Havalandır-malı Giydirme Cephe	Bilinmiyor
24	Sulafa Tower	Konut	76	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2016	Bilinmiyor.	Bilinmiyor
25	Shepherds Court	Konut	18	Londra/ İngiltere	2016	EIFS	0/1
26	Neo Soho Project	Karma kullanım	38	Jakarta/ Endonezya	2016	Bilinmiyor.	0/0
27	Longsheng Building	İş merkezi	28	Nanjing/Çin	2016	Bilinmiyor.	Bilinmiyor
28	Grenfell Tower	Konut	24	Londra/ İngiltere	2017	Havalandır-malı Giydirme Cephe	72/70
29	Yuansheng International	İş merkezi	20	Zhengzhou/ Çin	2018	Bilinmiyor.	Bilinmiyor

Tablo 1.1 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınları (devamı)

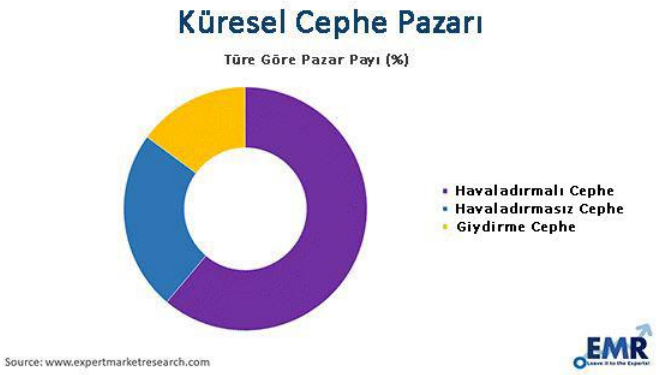
No	Bina Adı	Bina Kullanım Sınıfı	Kat Sayısı	Ülke	Yangın Yılı	Cephe Sistemi	Ölüm/ Yaralı Sayısı
30	Taksim Ilk Yardim Hastanesi	Sağlık Binası	11	İstanbul/ Türkiye	2018	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/0
31	Zen Tower	-	14	Dubai/ Birleşik Arap Emirlikleri	2018	Bilinmiyor.	0/0
32	Neo 200	-	41	Melbourne/ Avustralya	2019	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/0
33	Kaifeng Apartments	Konut	25	Kaifeng/ Çin	2019	Giydirme cephe	Bilinmiyor
34	Golden Eagle Shopping Mall	Alışveriş Merkezi	44	Nanjing/Çin	2019	Bilinmiyor.	0/0
35	Commercial Building	-	-	Luoyang/ Çin	2019	Bilinmiyor.	309/0
36	The Cube Student Housing	Yurt	7	Bolton/ İngiltere	2019	Giydirme Cephe	0/2
37	Abbco Tower	Konut	49	Sharjah/ Birleşik Arap Emirlikleri	2020	Panel ve Cam Giydirme Cephe	0/12
38	Business Centre	İş merkezi	30	Ankara/ Türkiye	2020	Panel ve Cam Giydirme Cephe	0/Bilinmi yor
39	Torre Ámbar Tower Block	-	21	Madrid/ İspanya	2020	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/Bilinmi yor
40	Samhwan Art Nouveau Tower	Karma kullanım	33	Ulsan/ Güney Kore	2020	Havalandır-malı Giydirme Cephe	0/91
41	Zhongxin Tower	Karma kullanım	26	Shijiazhuan /Çin	2021	Çift Cidarlı Cephe	4/0

Yapılan incelemelerde 2010 ve 2021 yılları arasında incelenen 41 adet cephe yangınının 21 tanesinin havalandırmalı giydirme cephelerde meydana geldiği 11 tanesinin ise kayıtlı bir cephe bilgisi olmadığı görülmüştür. Bu durum Şekil 1.3'de görüldüğü gibi tüm cephelerin %51'ini temsil ederken, bilinen cephelerin %70'i gibi büyük bir oranı temsil etmektedir.



Şekil 1.3 2010 – 2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınlarındaki farklı cephe türlerinin yüzdelik dağılımı (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

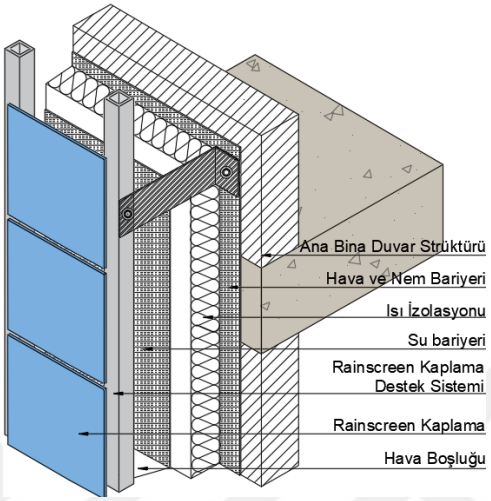
Cephelerde kullanımı çokça tercih edilen havalandırmalı giydirme cephe sistemleri yapıda; yoğuşma ve nemin önlenmesi, enerji verimliliğinin sağlanması, termal ve akustik yalıtımın oluşturulması gibi birçok yarar sağlamaktadır. Özellikle yüksek katlı binalarda havalandırmalı giydirme cephe sisteminin tercih edilmesindeki sebep enerji tasarrufu sağlanmasının birinci öncelik olmasıdır. Bazı cephe market araştırmalarına göre 2022-2027 yılları arasında havalandırmalı giydirme cephe sayısının artarak diğer cephelerden daha fazla yüzdeliğe sahip olacağı yönündedir (Şekil 1.4) (EMR, 2021).



Şekil 1.4 2022-2027 yılları arası tahmini cephe türleri dağılımı (EMR, 2021)

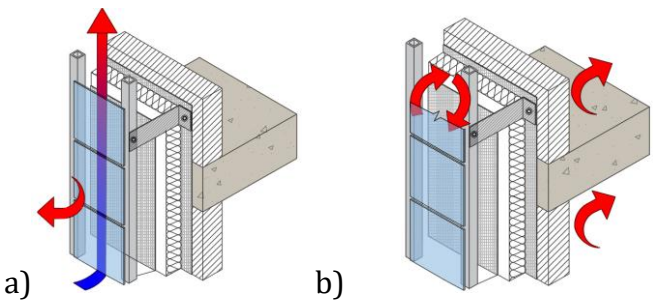
Havalandırmalı cephelerde sistem bir taşıyıcı duvar, bir yalıtım tabakası ve bir destek yapısı kullanılarak binaya sabitlenen bir kaplama malzemesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 1.5). Bu sayede taşıyıcı duvar ile kaplama malzemesi arasında hava boşluğu oluşturularak sürekli havalandırma sağlanmaktadır

(Tonbridge, 2011). Hava boşluğundaki hava hareketi, yağmur veya yoğuşmadan kaynaklanan nemin görünümünü sınırlamaya katkıda bulunmakta ve hava boşluğu cepheye yalıtım malzemesi eklenmesine olanak tanımaktadır (Cupapizarras, n.d). Aynı zamanda bu hava boşluğu yardımı ile havalandırmalı giydirme cepheler havanın ısısını kullanarak yapının sıcaklığını dengelemektedir.



Şekil 1.5 Havalandırmalı giydirme cephe sistemi perspektif detay çizimi (Çalışkan, 2023)

Havalandırmalı giydirme cephe kaplama paneli, gelen güneş ışınımı ile ısınmaktadır. Böylelikle, hava boşluğundaki hava ısınır ve ısınan hava, doğal konveksiyon nedeniyle hava boşluğundan yukarı doğru çıkarak cephenin üst ve alt kısmında bulunan havalandırma açıklıklarından havanın girip çıkmasına izin verir (Şekil 1.6a). Bu konveksiyon işlemi, yaz aylarında sıcak havanın yükselmesini sağlar ve boşluk içindeki havayı daha soğuk bir hava ile yenilemiş olur. Kış aylarında boşluğun içindeki hava yukarı doğru hareket edecek kadar ısınmaz ve sıcak havayı sabit tutar (Şekil 1.6b). Böylelikle binanın içerisindeki ısı sabit tutulur. Hava sirkülasyonundan oluşan bu etkiye ise baca etkisi denmektedir (Recatala, 2017).



Şekil 1.6 a) Yaz aylarındaki baca etkisi b) Kış aylarındaki baca etkisi (Recatala, 2017'den uyarlanmıştır).

Yapıda bu avantajları oluşturan hava boşluğundaki baca etkisi, cephe katmanlarında kompartımanlama ve detaylandırma doğru yapılmadığı taktirde yangın sırasında alev veya dumanın boşluğa girerek yangının hızla üst katlara yayılmasına neden olmaktadır. Cephe yangınlarının yayılım hızı, katlar arasında binanın cephesinde uygulanan detaya, cephede kullanılan ısı ve su yalıtım malzemelerinin yanıcılık özelliklerine ve cephe geometrisine bağlı olarak değişmektedir (Kılıç, 2012). Cephede yangın güvenliği açısından, bu sistemlerdeki hava boşluğunun yangının yayılması için nasıl bir yol oluşturduğunun ve alevin cephedeki katmanlara nasıl yayıldığının anlaşılması önem taşımaktadır.

Ondrus ve Pettersson'a göre cephede yangının yayılması için dört yol bulunmaktadır. Bunlardan biri, yangının cephe yapısı içindeki boşluklara (katlar arasında döşeme önündeki boşluklar) veya hava boşluklarına yayılmasıdır. Bu yangın tipi genellikle fark edilmesi, kontrol edilmesi ve söndürülmesi en zor yangındır (Ondrus & Pettersson, 1986). Yangın mühendisliği tasarımının genelinde, olası bir yangını mümkün olduğunca sınırlı bir alana hapsetme girişimi olarak genellikle bölmelere ayırma yani kompartımanlama eğilimi mevcuttur. Özellikle birden fazla katmana sahip havalandırmalı giydirme cephe tasarımında alev ve duman yayılımını durdurmak için cephede kompartımanlama sisteminin yapılması önem taşımaktadır. Kompartımanlama, hava girişini kısıtlayarak yangının büyümesini azaltıp, duman çıkışını en aza indirirken, yangının yayılmasını önlemeyi amaçlamaktadır (Empis, 2010). Bu, cephenin uzunluğuna ve genişliğine bağlı olarak bir veya birkaç kat genişliğinde ve uzunluğunda olabilmektedir.

1990-2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangınları incelendiğinde, detaylarında kullanılan malzemelerdeki veya boşluk bariyerlerinin konumlarındaki senaryo farklılıkları göze çarpmaktadır. Örneğin, 1991'deki Knowsley Heights yangınında kaplama yangına dayanımlı olmasına rağmen kaplamanın arkasındaki hava boşluğunda yangın bariyerleri kullanılmamıştır (White & Delichatsios, 2015). 2017'de meydana gelen Grenfell Tower yangınında kaplama sisteminin detaylandırılmasından dolayı yangının hızla yayılmasını sağlayan boşluklar oluşmuştur (Bisby, 2018). TVCC kulesinde, yangın bariyerinin olmaması, yalıtım ve kaplama malzemesinin yanıcı olması yangının ilerlemesine neden olmuştur (Chen vd., 2019). Bu yangın sonrasında, kat çevresinde yatay yangın durdurucu

kullanımının da mevcut kodlara eklenmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir (Peng & Huang, 2013).

Meydana gelen havalandırmalı giydirme cephe yangınları incelendiğinde, kullanılan malzemelerin yanıcılığının ve hava boşluğundaki yangın bariyeri eksikliklerinin dış cephe kaplaması boyunca yangının hızla yayılmasına sebebiyet verdiği görülmektedir. Havalandırmalı giydirme cephelerde hava boşluğu, kullanılan malzeme ve cephe detayı arasındaki ilişkinin bütüncül olarak araştırılması ve anlaşılması cephede yangın güvenliğinin sağlanabilmesi adına önemli bir konudur. Bu bağlamda geçmişten günümüze literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında deneysel veya sayısal olarak inceleyen ve konuya yön veren akademik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak konuyu deney sonuçları, gerçekleşmiş olaylar ve yönetmelikler üzerinden bütüncül şekilde ele alan bir çalışma bulunmamaktadır.

1986'da İsveç'te bulunan Lund teknoloji enstitüsü bina yangın güvenliği bölümünde Ondrus ve Pettersson tarafından gerçekleştirilen tam ölçekli yangın deneyi cephelere dışarıdan eklenen ısı yalıtımının yangına etkisini incelemiştir (Ondrus & Pettersson, 1968) .

1984'te W. Taylor tarafından havalandırmalı giydirme cephe sisteminde bulunan hava boşluğunun yangına etkisi araştırılmış (Taylor vd., 1984), Alpert ve arkadaşları ise yangının düşey yayılma hızını araştırmışlardır (Alpert & Ward, 1984).

1994 ve1995'de Ingason, Karlsson ve Foley tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ise raflı depolar ve havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinin her ikisinde de dar boşluklar olmasından kaynaklı benzer yangın yayılım şekline sahip olduğu savunulmaktadır. İki boyutlu raflara sahip bir depoda yangın esnasında oluşabilecek alev yüksekliklerini ve hava akışını incelemiştir. Çalışmada kullanılan raf sistemindeki hava boşluğu genişlikleri değiştirilerek deney tekrarlanmıştır. Deneyde, alev yüksekliği ile ısı çıkışının düşey hava boşluğu genişliğine oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumda, düşey hava boşluğu genişliğinin, baca akışını kontrol eden baskın geometrik bir parametre olduğu bulunmuştur (Insago, 1994; Karlsson vd., 1995; Foley vd., 1995).

2016'da McNamee havalandırmalı giydirme cephe sisteminde hava boşluğunun yangına etkisini araştırırken (McNamee vd., 2016), 2018'de Livkiss ve arkadaşları sadece boşluk genişliğinin alev yüksekliğine etkisini araştırmıştır (Livkis vd., 2018).

Guillaume ve arkadaşları farklı kaplama ve yalıtım malzemelerinin kombinasyonlarının yangına tepkisini araştırmıştır (Guillaume vd., 2018). 2020'de Colic ve Pecur tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise yangın bariyerlerinin sayısı ve konumları üzerine deneysel bir araştırma gerçekleştirilirken (Colic & Pecur, 2020), 2021'de Sharma ve Mishra yalnızca farklı yanıcılık seviyelerine sahip kaplama ve yalıtım malzemelerininin yangına etkisi araştırılmıştır (Sharma & Mishra, 2021). 2021'de Jones ve arkadaşları ise farklı yanıcılık özelliklerine sahip kaplama malzemeleri ile cephe yanıcılık deneyi gerçekleştirmiştir. Havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinin farklı yalıtım malzemeleri bazında dayanımı incelenmiştir (Jones vd., 2021).

İncelenen çalışmalarda, cephelerde bulunan hava boşluklarına alev girdiğinde alanın dar olması sebebi ile ısı kaybının yaşanmadığı ve bu nedenle ısının geri beslendiği görülmektedir. Bu da hava boşluklarında alev yayılma hızını arttırmaktadır. Ek olarak cephede oluşan yangının yayılma hızına kullanılan cephe malzemelerinin yanıcılık özellikleri ile birlikte cephe açıklıkları ve cephe içi boşlukların boyutu da etki etmektedir (Kılıç, 2012; Wade & Clampett, 2000). Havalandırmalı giydirme cephelerin kurgusunu oluşturan katmanlarda izin verilen boşluklar doğru kompartımanlama sistemleri ile detaylandırılmadığı taktirde, boşluk geometrisinden ve baca etkisinden dolayı alev ve duman cephede bulunan boşluğun içine ulaştıktan sonra boşlukta bulunan basınç farkıyla hızla yükselmektedir. Bu aşamada yangının hava boşluğundan yayılması dış ortamdan fark edilemediğinden olası risk artmaktadır (Colwell & Baker, 2013). Dolayısıyla cephe tasarımının, yangının davranışında ve binaya yayılmasında önemi büyüktür. Bu nedenle cephede yangına sebebiyet verebilecek durumların tespit edilmesi ve yangının/dumanın yayılımının engellenebilmesi için önlemler alınması önem taşımaktadır.

Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda tek tip havalandırmalı giydirme cephe türüne veya sadece cephedeki hava boşluğuna odaklanılmıştır. Fakat malzeme ve sistem çeşitliliği bağlamında birçok havalandırmalı giydirme cephe sistemi bulunmakta ve hava boşluğu temel prensibi çerçevesinde hepsi olası yangınlar için tehlike arz etmektedir. Bu bağlamda farklı havalandırmalı giydirme cephe tiplerini incelemek ve yangın yayılımına etkisini ortaya koyarak olası yangınların oluşmasını

ve yayılmasını önlemek için çalışmalar yapılması önemlidir. Bu çalışmada, malzeme ve sistem değişikliği kapsamında farklı havalandırmalı giydirme cephe tipleri araştırılarak akademik çalışmalardan ve meydana gelmiş yangın olaylarından elde edilen bilgiler ile yangın yayılım dinamikleri ve değişkenleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, elde edilen veriler bir araya getirilerek havalandırmalı giydirme cephe sistemine bütüncül bir yaklaşımla bakılmış, yangın güvenlikli havalandırmalı cephe tasarımı kapsamında alınacak önlemlerin neler olduğu ile ilgili öneriler sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Havalandırmalı giydirme cephelerde yangın ile alakalı akademik-deneysel çalışmalar, geçmiş yangınlar ile ilgili çalışmalar ve ülkelerin yangın yönetmeliklerinde konu ile ilgili maddeler mevcuttur ancak özellikle son yıllarda meydana gelen cephe yangınlarının çoğunun havalandırmalı giydirme cephelerde olması ve can kayıpları/yaralanmalar ile birlikte büyük maddi kayıplara neden olması, yangının cephe ile etkileşimini tasarlama yöntemlerinde hala eksiklikler olduğunu ortaya koymaktadır. İncelenen akademik-deneysel çalışmalarda yanıcı kaplama, yanıcı yalıtım malzemeleri veya boşluk genişliği gibi sadece bir konuya odaklanıldığı ve tek tip havalandırmalı giydirme cephe üzerinden araştırıldığı görülmüştür. Havalandırmalı giydirme cephelerde yangın güvenlikli tasarım sadece havalandırma boşluğunun organize edilmesinden veya malzemelerin yanmazlık derecelerinin sağlanmasından çok, cephe sisteminin bütüncül olarak ele alınmasından oluşmaktadır. Bu doğrultuda, yangın yayılım dinamiğinin havalandırmalı giydirme cephelerde oluşturduğu etkiler hakkında araştırmacılara, uygulayıcılara, üreticilere, tasarımcılara ve yasa üreticilerine bilgi vermek önemlidir.

Tezin amacı, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında, havalandırmalı giydirme cephe ile ilgili yapılmış akademik-deneysel çalışmaların, meydana gelen yangın olaylarının ve yangın yönetmeliklerinin bir arada ele alınarak yangının meydana geliş şeklinin, yangın esnasında tüm cephe boyunca yangının ilerleyişinin ve buna neden olan sebeplerin ortaya konulmasıyla birlikte incelenen çalışmalarda ve yönetmeliklerde nelerin eksik olduğunun belirlenmesi ve bu eksikliklerin nelere sebebiyet verdiğinin ortaya konulmasıdır. Bu sorunların ortaya koyulması ile

birlikte havalandırmalı giydirme cephede kullanılan malzemeler, cephe kurguları, yangın yönetmelikleri ve incelenen deneylerin sonuçları bütüncül bir şekilde ele alınarak yangın güvenlikli bir cephe sistemi oluşturmak için araştırmacılara, uygulayıcılara, üreticilere, tasarımcılara ve yasa üreticilerine öneriler verilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez ve Yöntem

Mimarlık, inşaat mühendisliği ve malzeme bilimi alanında oluşan teknolojik gelişmeler ve yenilikler, binalarda cephe sistemleri ve yangın yayılımı arasındaki ilişkiyi yeniden değerlendirmeyi gerekli kılmıştır. Yangına dayanımlı cephe tasarımında uygun malzeme seçimi, cephe katmanları arasında doğru detaylandırma ve doğru hava boşluğu genişliği seçimi yapılmadığı taktirde yangın sırasında alev veya dumanın boşluğa girerek yangının hızla üst katlara yayılmasına, ikincil yangınların çıkmasına, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

Farklı katmanlara ve malzemelere sahip havalandırmalı giydirme cephe türlerinde (malzeme çeşitliliği ve sistem çeşitliliği olarak) tüm cephe boyunca yangının ilerleyişini ve hızını sınırlandırmak için yapılacak olan yangına dayanımlı cephe tasarımının, tasarımcı ve uygulayıcılar tarafından doğru malzeme ve uygun detay sistemi ile birlikte cephe kurgusunu bütüncül bir şekilde ele alarak mümkün olacağı düşünülmektedir. Bu bütüncül yaklaşımın oluşturulabilmesi için ise, havalandırmalı giydirme cephe çeşitlerinin, kullanılan malzeme çeşitlerinin, havalandırmalı giydirme cephelerde meydana gelmiş yangın olaylarının, ülkelerin yangın yönetmeliklerindeki havalandırmalı giydirme cepheler ile ilgili olan maddelerin ve akademik-deneysel çalışmaların sonuçlarından elde edilen verilerin bütüncül bir şekilde ele alınmasıyla ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Yapılarda yangın oluşumu tamamen önlenemediğinden bu araştırma, olası yangınların tüm havalandırmalı giydirme cephe kaplama sistemlerinde nasıl ve hangi şartlarda sınırlanabileceği konusuna cevap aramaktadır.

Araştırmada, farklı havalandırmalı giydirme cephe türleri ile ilgili detaylı literatür araştırması yapılmıştır. 1990'dan 2021'e kadar meydana gelen havalandırmalı giydirme cephe yangınları ve havalandırmalı giydirme cephelerde farklı bilim adamları tarafından yapılan deneyler yangın yayılım dinamiği açısından incelenmiştir. Meydana gelen yangın olayları içerisinde deneyler ile

karşılaştırılabilecek bilgileri bulunan yapılar detaylı olarak incelemeye alınıp, incelenen deneyler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanarak bir araya getirilmiştir. Aynı zamanda havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı İngiltere, Amerika, Arap Emirlikleri, Almanya, İsveç, Avustralya'nın yangın yönetmelikleri ve Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmeliği havalandırmalı giydirme cephe kapsamında incelenmiş ve meydana gelen yangın olayları ile karşılaştırılmıştı.

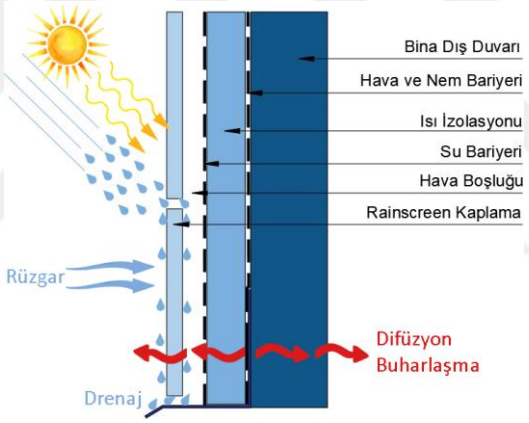
Tüm bu çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda alınacak önlemlerin neler olduğu belirlenerek yangın güvenlikli havalandırmalı giydirme cephe sistemi tasarım önerileri sunulmuştur.

Bu çalışmanın, havalandırmalı giydirme cephe sisteminin yangına karşı davranışını ortaya koyması, doğru malzeme ve detay seçiminin yapılması, yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonuçlarının değerlendirilerek elde edilen verilerin kullanılabilir duruma getirilmesi, konu ile ilgili yangın yönetmeliklerinde bulunan maddelerin ele alınması ve ayrıntılı incelenmesiyle yangına dayanımlı cephe tasarımı kapsamında önerilerde bulunarak akademisyen, tasarımcı, uygulayıcı ve yasa berlirleyicilere yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2
HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHELER VE YANGIN YAYILIM DİNAMİĞİ

2.1 Havalandırmalı Giydirme Cephe Türleri

Havalandırmalı giydirme cephe sistemi tipik olarak iki aşamalı bir sistemdir. Bina dış duvarı rainscreen ismi verilen bir dış kaplama tarafından korunmaktadır. Rainscreen, yağmur suyunun kaplamadan geçişini en aza indiren birinci savunma hattıdır. Birinci savunma hattını geçen suyun binanın dış duvarına ulaşmasını engelleyen ve onu etkili bir şekilde drene eden bölüm ise ikinci savunma hattıdır (Şekil 2.1) (Chown, vd., 2008; Grigore & Albulescu, 2019).



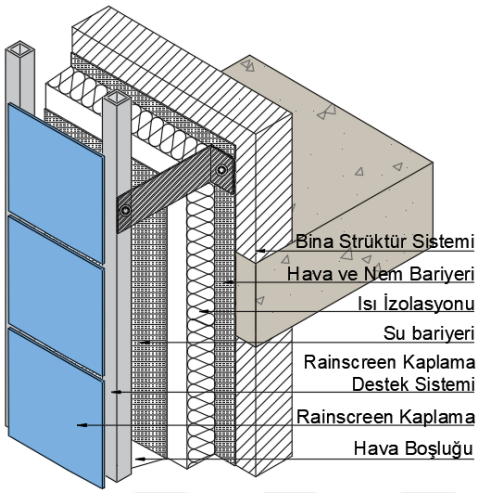
Şekil 2.1 Havalandırmalı giydirme cephe sistem kurgusu (Çalışkan, 2023)

Tipik bir havalandırmalı giydirme cephe sistemi temel olarak en dış katmandan içe doğru;

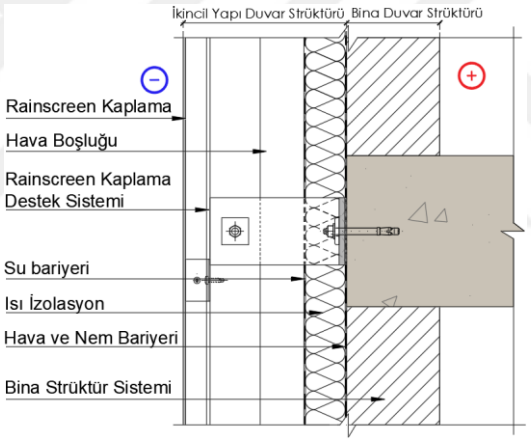
1) rainscreen kaplama ve destek sistemi,
2) hava boşluğu,
3) yalıtım (ısı, su, hava, nem) ve
4) bina strüktür sisteminden oluşmaktadır (Şekil 2.2, Şekil 2.3).

Havalandırmalı giydirme cephe çok katmanlı bir sistemdir. Her katmanın ayrı bir işlevi vardır. Rainscreen kaplama, birincil yağmur bariyerini oluşturur. Bu katman suyun tamamının olmasa da bir kısmının içeri girmesini engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Kaplama, panellerin arasındaki açık derzlerden havanın geçişini

engellemez. Tamamıyla sızdırmaz değildir belli miktarda hava ve su girişine izin vermektedir (Clapperton vd., 2006).

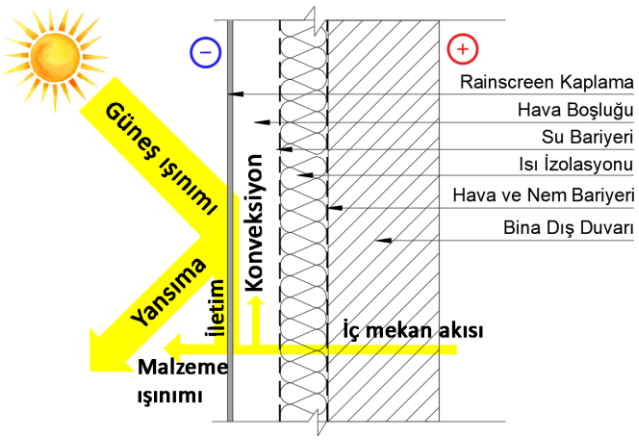


Şekil 2.2 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminin perspektif detay çizimi (Çalışkan, 2023)



Şekil 2.3 Havalandırmalı giydirme cephe sistemi kesit çizimi (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

Cephe, rüzgâr ve güneş ışınımı ile direkt temas halindedir ve bu nedenle dış kaplamanın dayanıklı malzemeden olması gereklidir. Rainscreen kaplama yaz aylarında yapıya gelen yüksek düzeydeki güneş ışınım etkisini önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle, dış kaplama sıcak mevsimlerde ısı kalkanı görevi görerek güneş ışınımının çoğunu doğrudan yansıtır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde güneş ışınımı şeması (Stonesize, n.d.'den uyarlanmıştır)

Rainscreen kaplama destek sistemi, rainscreen kaplamanın yükünü bina strüktürüne ileten dayanıklı bir yapıdır. Kaplama elemanlarının bina strüktürüne ankrajlar vasıtasıyla montajı yapılabilmektedir. Fakat bina dış duvarı yeterince dayanıklı değilse ikincil bir strüktür yapı inşa edilerek kaplama montajı gerçekleştirilir. (Tabadkani vd., 2015).

Isı yalıtım katmanı, ana duvarın ön kısmına monte edilmektedir. Bu katmanın, ısı köprülerini önlemek için kesintisiz bir şekilde ana duvarın tüm yüzüne monte edilmesi gereklidir. Bu sayede termal hareketlerin yanı sıra ani sıcaklık değişimlerinin ve yoğuşma riskinin de önüne geçilmiş olur. Aynı zamanda binanın enerji verimliliğinde de rol oynamaktadır. Soğutma mevsimi boyunca, düşük hava ve buhar geçirgenliğine sahip dış yalıtım, içeriye doğru hava sızıntısına ve hava boşluğunun iç yüzeyinde oluşabilecek buhara karşı direnç gösterir (Kesik, 2016).

Hava ve su bariyeri, bina duvarlarına nemin girmesini önleyen son koruma katmanıdır. İhtiyaca göre geçirgen veya geçirimsiz olabilmektedir. Suyu yerçekimi kuvveti ile aşağıya doğru yönlendirmektedir. Aynı zamanda tüm havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde binanın iç kısmına hava ve su girişinin kesinlikle engellenmesi amacıyla coğrafi alana uygun seçilmiş hava ve su bariyerleri kullanılması önerilmektedir (Wood, 2018).

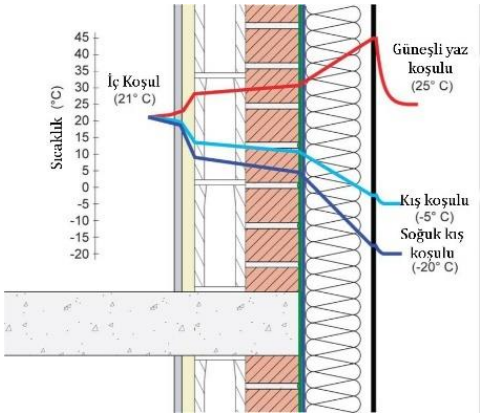
Hava boşluğu, havalandırmalı giydirme cephe sisteminin etkinliği için gerekli olan temel prensiptir. Bu boşluk ikincil bir savunma hattı sağlamaktadır. İkincil savunma hattı olan hava boşluğunun hizmet ettiği amaçlar;

- nemin drenajına izin vermek,

- ana duvara suyun gelmesini ve binaya suyun girmesini önlemek için hava sirkülasyonu sağlamak, hava bariyerinin yüzeyinden nemi buharlaştırmak ve boşluğu kurutmak ,
- doğal konveksiyon (taşınım) ile birlikte bina içi ısı yalıtımını sağlamak,
- akustik yalıtıma katkıda bulunmak şeklindedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, hava boşluğunda oluşacak hava hareketine izin vermek için minimum 25 mm hava boşluğu standarttır (Grauer, 2019). Hava boşluğunun derinliği için minimum gereklilikler, test standartlarında 25 mm ile 50 mm arasındadır ve bazı kaplama üreticileri, duvar yüksekliğine ve seçilen kaplama bağlantı genişliğine bağlı olarak hava boşluğunun derinliğini belirlemektedir. 25 mm'den daha yüksek duvarlar, yükseklik olarak metre başına 1mm'lik bir boşluk derinliğine sahip olmalıdır. Örneğin sürekli boşluklu 50m'lik bir duvar, minimum 50 mm derinliğe sahip olmalıdır (Grauer, 2019).

Hava boşluğu her iki yönde de sıcağa ve soğuğa karşı ısı yalıtımı işlevi görür. Havalandırmalı giydirme cephe sisteminin kaplama paneli, gelen güneş ışınımı ile ısıtılmaktadır. Böylelikle, hava boşluğundaki hava ısınır, ısınan hava, doğal konveksiyon ile hava boşluğundan yukarı doğru çıkar ve cephenin üst ve alt kısmında bulunan havalandırma açıklıklarından havanın girişine ve çıkışına izin verir (Recatala, 2017). Doğal konveksiyon, yazın aşırı ısınmayı önler, kışın ise sabit bir sıcaklığın korunmasına yardımcı olur. Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde hava boşluğunun yanı sıra yalıtımın dışarıda kullanılması ve sürekli devam etmesi, termal köprü oluşumunu önler, yapıya ısı akışını azaltır ve yapının iç kısmını eşit sıcaklıkta tutar (Şekil 2.5)(Chu & Straube, 2015)



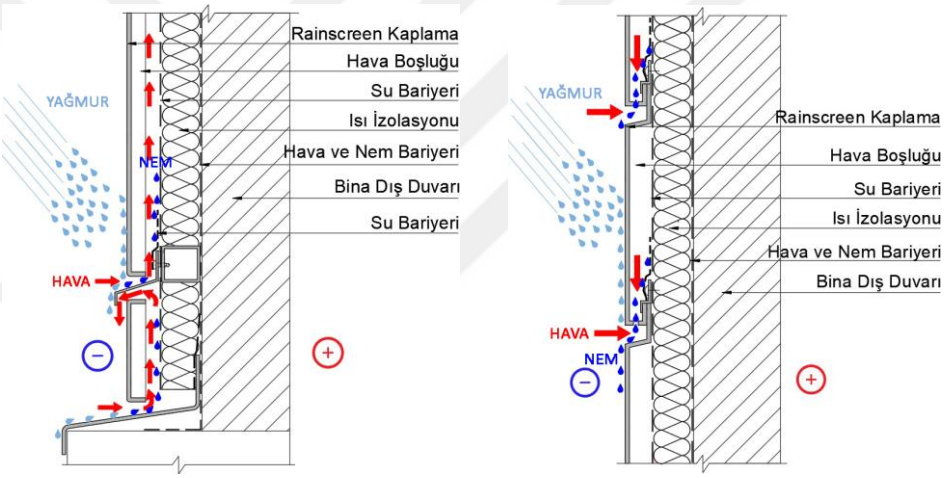
Şekil 2.5 Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde yapı içi sıcaklığın sabitlenmesi (Chu & Straube, 2015).

Bina duvar strüktürü, iç mekânı dış alandan ayırır ve buhar bariyeri için zemin oluşturur (Wood, 2018).

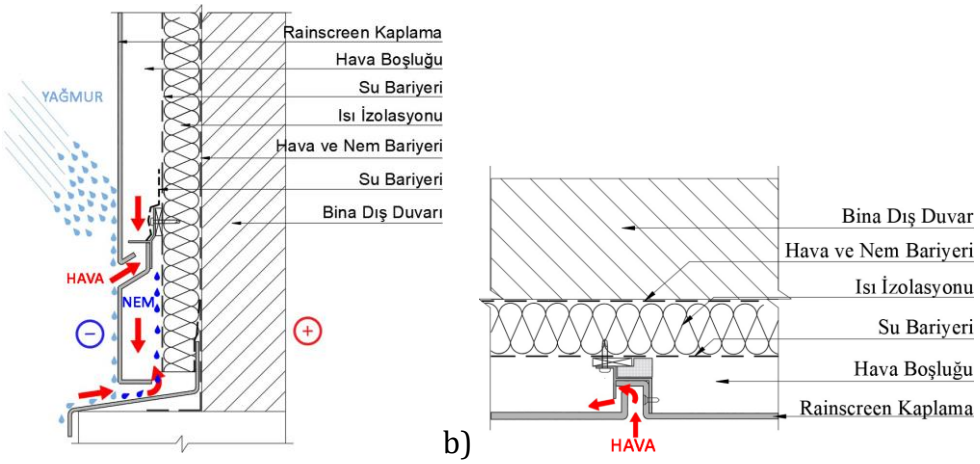
İki tip havalandırmalı giydirme cephe çeşidi vardır;

1. Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe kaplama sistemi (American Architectural Manufacturers Association 508-14, 2014),
2. Drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe kaplama sistemi (DB/V) (American Architectural Manufacturers Association 509-14, 2014).

Her iki sistem çeşidi daha önce açıklanan temel tasarım ilkelerini kullanır ancak, (şekil 2.6, 2.7, 2.8) hava boşluğu, derz detayları ve kurulum tekniklerinde farklılık göstermektedirler. İki havalandırmalı giydirme cephe prensibi arasındaki fark su ve hava sirkülasyonunu organize etme şeklinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.6 Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe (PER) sistemi kesitleri (Çalışkan, 2023)



a) b)

Şekil 2.7 Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe (PER) sistemi a)kesit ve b)plan (Çalışkan, 2023)

Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe çeşidi, rüzgârla taşınan suyun hava yoluyla sızmasını önlemek amacıyla tasarlanmış bir dış cephe kaplama sistemidir. Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe sisteminde, gizli yoğuşma ve duvar bozulmasına neden olabilecek yağmur suyunu bina ana cephesine ulaştırmamak amaçlanmaktadır (American Architectural Manufacturers Association 508-14, 2014). Su penetrasyonunu sınırlandırmak için hava boşluğunda bulunan iç basınç ile cephenin dışındaki basıncı eşitlemek gerekmektedir. Bir binanın bir yüzündeki basınç tek tip olmadığı ve sürekli değiştiği için basınç dengeleme sistemi yaratmak amacı ile kompartımanlıma yapmak ve hava boşluğunu bölümlendirmek gerekmektedir (Clapperton vd., 2006). Her kompartıman boyutu dikkatle belirlenmelidir. Kompartıman ne kadar büyük ve derin olursa, o kadar fazla hava girişi gerekmekte ve havalandırma derzlerinin de o kadar büyük olması beklenmektedir (Avenere Cladding, n.d.). Kaplamanın altındaki havalandırma delikleri, rüzgâr estiğinde bölmelerin hava ile dolmasını sağlamaktadır. Hava, bölmelerin yukarısında kaçacak yer olmadığı için dışarı çıkamaz, bu nedenle hava basıncı gelen rüzgâr basıncına eşit olarak geri itilir (Şekil 2.7, Şekil 2.8). Dolayısıyla cephenin dışındaki negatif basınç cephenin içindeki pozitif basıca eşitlenmiş olur ve bu şekilde yağmur itici kuvvetlerin etkisi azalır (Clapperton vd., 2006). Bu sistem, suyun binanın hava ve buhar bariyerine ulaşmasını tamamen engellemektedir. Dolayısıyla hava ve su bariyerleri tam pozitif ve negatif rüzgâr yüklerine dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (American Architectural Manufacturers Association 508-14, 2014).

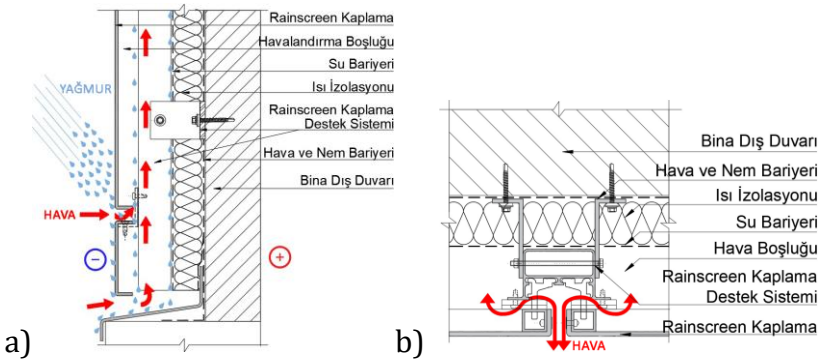
Anderson ve Gill'e göre basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe sistemi yaklaşımında, sızdırmazlık malzemeleri veya conta kullanımına güvenmeden, kaplama düzeneğinde derzlerden sızıntıyı en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için çaba gösterilmelidir. Bununla birlikte, boşlukta bir miktar küçük sızıntı olduğunda ise drenaj mekanizması ile uzaklaştırılması gerekmektedir (Anderson & Gill, 1988). Dolayısıyla, kaplama arkasında iyi işleyen bir drenaj sistemi olması gerekmektedir. Kalan yağmur suyunun hızlı buharlaşmasını desteklemek ve iç katmana (binanın yapısal duvarı) geçen suyu buharlaştırmak için pozitif arka havalandırma kullanılmalıdır. Düşey hava boşluğu tipik olarak her bölmeli birimin alt yatay derz noktalarında kesintiye uğrar. Bunun nedeni ise, bir PER havalandırmalı giydirme cephesinin temel tasarım amacının, herhangi bir kaza

sonucu su sızıntısını kendi kendine tahliye eden iç boşluklara sahip izole kaplama üniteleri oluşturmasıdır (Chown vd., 1997; Clapperton vd., 2006).

AAMA 508-14'da basınç dengeli rainscreen kaplamalar için dört temel prensipten bahsedilmiştir. Bu prensipler;

1. Tüm duvar sistemine su girişi engellenmeli,
2. Su buharı iç duvara yayılırsa havalandırmalı,
3. Hava/su bariyeri pozitif ve negatif rüzgâr yüküne dayanacak şekilde tasarlanmalı,
4. Gizli su sistemin içerisinde tutulmamalıdır.

Anderson ve Gill'e göre drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe sistemde (DB/V) basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe sistemi gibi, basınç dengeleme yolu ile rüzgârın etkilerini en aza indirmek için derz noktalarında veya havalandırma boşluklarında kasıtlı bir detaysal düzenlemede bulunulmamaktadır. Bu cephe sistemi kaplamanın yağmur suyunu sızdıracağı düşüncesi ile tasarlanır. Öndeki ilk kaplamanın arkasında bir boşluk oluşturulur ve yapının iç katmanına ve yalıtım katmanına (binanın yapısal duvarı) gelen suyun ve nemin hızlı buharlaşmasını desteklemek için pozitif arka havalandırma sistemini yani hava boşluğunda bulunan sınırsız hava hareketini kullanır. Bu kaplamanın ana odak noktası, kaplamadan geçip boşluğa giren suyu yönetmek ve tahliye etmektir. İlk öncelik olarak cephenin prensibi, suyu yerçekimi ile tahliye etmek ve havalandırma yoluyla kalan nemin kurumasını sağlamaktır (Şekil 2.8). Bu havalandırmalı giydirme cephe sistemindeki kaplamalar rüzgâr yükünün yüzde yüzüne dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (Jutras & Fecteau 2019; Fechino, 2019).



Şekil 2.8 a)Drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe sistemi tipik kesit çizimi b) Drenajlı ve arkadan havalandırmalı giydirme cephe sistemi tipik plan çizimi (Çalışkan, 2023)

D&BV sistemlerinin tasarımı dört temel gereksinimi sağlamalıdır. Bu prensipler (American Architectural Manufacturers Association 509-14, 2014);

1. Bina dış duvarına su girişi engellenmeli,
2. Hava/su bariyeri, birincil hava koşullarına karşı koruma sağlayacak şekilde tasarlanmalı,
3. Sistem, kaplamanın arkasındaki boşluğa giren suyu yönetecek ve tahliye edecek şekilde tasarlanmalı ve boşluğun kurumasını sağlamak için yeterince havalandırılmalı,
4. Su buharı bina içinden hava/su bariyeri yoluyla D/BV sistem hava boşluğuna yayılırsa, havalandırılmasına ve/veya dışarıya boşaltılmasına izin verilmelidir.

Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe ve drenajlı/havalandırmalı giydirme cephe sistemi arasındaki farklar Tablo 2.1'de yer almaktadır. Basınç dengeli havalandırmalı giydirme cephe sistemi ve drenajlı/havalandırmalı giydirme cephe sistemi su ve hava kontrolünü sağlama yöntemi üzerinden farklılaşan sistemler olmasının dışında aynı ilkelere sahiptirler. Havalandırmalı giydirme cephe sisteminin özü, açıklığın kendisini ortadan kaldırmak yerine suyu bir dış açıklıktan geçiren kuvvetleri en aza indirmek veya ortadan kaldırmaktır (Metal Construction Association, 2014).

Tablo 2.1 Basınç dengeli ve drenajlı/ havalandırmalı giydirme cephe sistemleri arasındaki farklar

Sistemler	**Basınç Dengeli Havalandırmalı Giydirme Cephe Kaplama Sistemi**	**Drenajlı / Havalandırmalı Giydirme Cephe Kaplama Sistemi**
Derz Sistemi	Hava girmesi için açık derz. Derzlerden sızıntıyı en aza indirir veya ortadan kaldırır	Açık derz, kaplamanın hava ve suyu içeri almasına izin verir.
Drenaj Sistemi	Kaplamanın arkasındaki hava boşluğu sayesinde su, nem ve hava için drenaj sistemine sahiptir. Su sızdırmazlığı için basınç dengeleme sistemini düşey drenaj sistemindeki boşlukta gerçekleştirir.	Kaplamadaki suyun çoğunu tahliye edecek düşey drenaj sistemine sahiptir.
Tasarım	Basınç dengelemeye izin veren karmaşık tasarıma sahiptir.	Tasarım karmaşık değildir.
Basınç Dengeleme	Basınç dengelemek üzerine kurulu bir sistem.	Basınç dengelemek için bir tasarım prensibi yoktur.

Cephe sistemlerinin yenilikçi tasarımları yapı teknolojisindeki yeniliklerden kaynaklanan malzeme ve yöntemlerdeki değişikliklere ve gelişmelere dayanmaktadır. Geçmişte bina cephelerinin dayanıklı olması ve çevresel ayrımı sağlaması bekleniyordu ancak şimdi enerji verimliliği, iç mekân konforu, yangın güvenliği vb. birçok konuları ele alması gerekmektedir. Modern bina biliminin ortaya çıkmasıyla, çağdaş performans gereklilikleri (Kesik, 2016);

- Dayanıklılık,
- Sıcaklık akışı kontrolü,
- Hava akışı kontrolü,
- Nem kontrolü,
- Güneş ışınımı kontrolü,
- Gürültü kontrolü,
- Yangın,
- Güvenlik,
- Ekonomi,
- Çevresel etkiler,
- İnşa edilebilirlik,
- Estetik,

şeklinde kategorize edilebilir.Bu gereklilikler doğrultusunda havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinin yapıya sağladığı faydalar;

1. Yoğuşmayı ve nemi önleme
2. Cephe ömrünü uzatma,
3. Yapısal hareketleri azaltma,
4. Termal ve akustik yalıtımı iyileştirme,
5. Enerji verimliliğini arttırma

olarak sıralanabilir.

2.2 Havalandırmalı Giydirme Cephe Sistemi Malzeme ve Kullanım Şekilleri

Havalandırmalı giydirme cephe katmanlarının sıralaması kullanılan kaplama malzemesi değişmeksizin içten dışa olacak şekilde; taşıyıcı duvar, su ve nem bariyeri, ısı yalıtımı, hava boşluğu, kaplamanın destek taşıyıcı sistemi ve kaplama

malzemesidir (Straube, 2020). Ancak havalandırmalı giydirme cephelerde katman sıralaması değişiklik göstermese de kullanılan malzemeler ve özellikleri değişiklik gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak da kullanılan malzemelerin yangın sınıfı ve yangına tepkisi değişmektedir.

2.2.1. Kaplama Çeşitlerine Göre Havalandırmalı Giydirme Cepheler

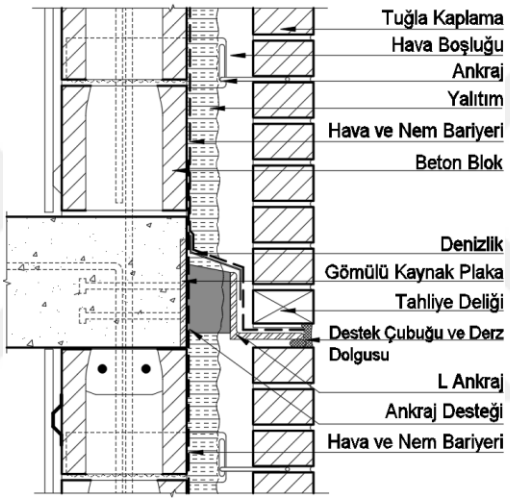
Kaplama, havalandırmalı giydirme cephe sisteminin dış katmanını oluşturmaktadır. Bu dış tabaka, su sızdırmazlık, iklimsel koşullara karşı cepheyi koruma, estetik ve dekorasyon amaçlı işleve sahiptir. Kaplama, bir alt çerçeve kullanılarak ana duvar olan strüktür duvara mekanik olarak sabitlenir. Bu cephe türünde kaplama elemanı ile duvar arasında havalandırmalı bir boşluk oluşturulması amaçlanmaktadır. Cephede tasarım aracı olarak da kullanılan bu katman çeşitli malzemelerden üretilebilmektedir. Kaplama malzemeleri, ahşap esaslı paneller, tuğla kaplamalar, lifli çimento levha, precast beton, metal levha ürünleri, alüminyum kompozit panel, yüksek basınçlı lamine paneller (HPL), taş, tuğla ve seramik kaplamadır (Deutsche Steinzeug America Inc, 2010). Farklı kaplama malzemeleri ile oluşturulan havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde yangın yayılım dinamiği ise malzemelerin yanıcılık özellikleri, yangın esnasındaki tepkisi, hava boşluğu genişliği ve burada oluşan hava akış hızına göre değişiklik göstermektedir.

2.2.1.1 Tuğla Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Tuğla, estetik görünümü, diğer taşıyıcı sistemlerle birleştirilme kolaylığı ve her projenin koşullarına ve gereksinimlerine yaratıcı bir şekilde uyum sağlama özelliklerini barındıran bir kaplama malzemesidir. Literatürde incelenen havalandırmalı cephe tuğla kaplama malzemesinin kalınlığı 0,12 m'ye kadardır ve kullanılan malzeme türüne göre değişen termal özelliklere sahiptir. Tuğla kaplama havalandırmalı giydirme cephe kaplaması olarak kullanıldığında iyi bir nem penetrasyonu direnci sağlamaktadır.

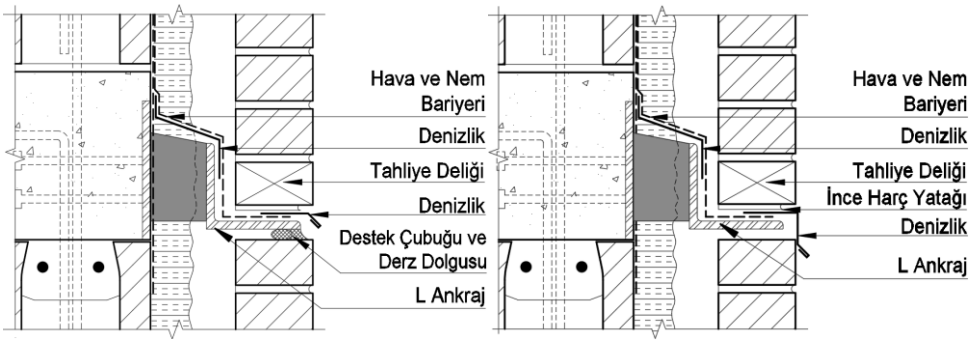
Literatürde yer alan çalışmalarda tuğla kaplama kullanılan havalandırmalı cephe sistemlerinde hava boşluğu aralığının genellikle 20 mm ile 60 mm kullanıldığı görülmektedir (Rahiminejad & Khovalyg, 2021). Fakat Tuğla Endüstrisi Derneği'ne göre yapısal olarak tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerde hava boşluğu minimum 50 mm, maksimum ise 114 mm arasında bir genişlikte olmalıdır. 50 mm'den daha küçük olan hava boşluğu genişliklerinde tuğlalar arasında

kullanılan harç nedeni ile tıkanma problemi yaşanabilmektedir. 114 mm'den büyük hava boşluklarında ise öngörülen bağlantının yanal yükleri düzgün şekilde binaya aktaramadığı belirtilmektedir. Daha büyük hava boşluğu genişliği için ek ankraj veya daha kalın ankraj kullanımı gerekebilmektedir. Cephe sistemine yerleştirilen yalıtımdan sonra ise kalan hava boşluğu 25 mm 'den az olmamalıdır. Hava boşluğu temiz tutulamadığı taktirde yalıtımdan sonra bırakılan hava boşluğu genişliği minimum 50 mm tercih edilmelidir (Şekil 2.9) (Young vd., 2018). Balıkçı'nın çalışmasında uygulayıcı firmalardan elde edilen bilgilere göre ise hava boşluğu 20 mm ile 100 mm arasında kullanılabilse de yaygın olarak 60 mm ile 70mm arasında hava boşluğu tercih edildiği belirtilmektedir (Balıkçı, B., 2020).



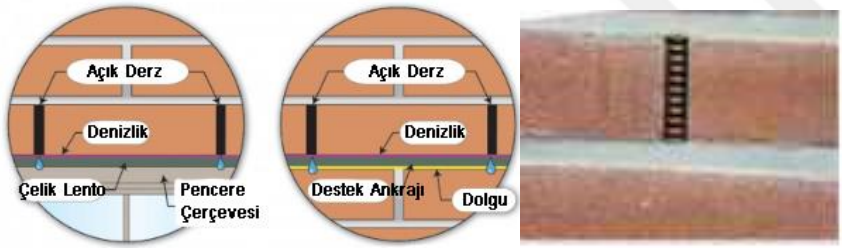
Şekil 2.9 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (Canadian Masonry Contractors Association, n.d)

Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sisteminde denizlik ve havalandırma tahliye delikleri tasarıma dahil edilmelidir. Bu sistem, cepheye nüfuz eden sudan kurtulmak için tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe yapım yöntemlerinde kullanılan bir drenaj sistemidir. Denizlikler, duvarın bitiminde, tüm duvar açıklıklarının üstünde ve altında, saçakların altında ve hava boşluklarının altında kullanılmalıdır. Denizliklerde sac metal bindirmelerin meydana geldiği yerlerde, bindirmeler ya yüksek kaliteli silikon veya bütil bazlı dolgu macunu ile tamamen kapatılmalı ya da lehimlenmelidir. Ancak paslanmaz çelikten sac metal ek parçalar yapmak en iyi uygulamadır (Şekil 2.10)(Young vd., 2018).



Şekil 2.10 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe derz çeşitleri (Canadian Masonry Contractors Association, n.d)

Havalandırma delikleri, her bölmenin üstüne ve altına monte edilmelidir. Açık derzler yatay olarak maksimum 600 mm'de bir tuğla yüksekliği kadar olmalıdır (Şekil 2). Yuvarlak açıklıklar kullanılıyorsa, çapları en az 10 mm olmalı ve boşluklar yatay olarak 400 mm'de bire düşürülmelidir. Denizlikler açık derzlerin olduğu bölgelerde bulunmalıdır. Havalandırma tahliye delikleri, her bir bölme için hem üstte hem de altta en az iki havalandırma sağlanmalıdır. Boyutları ise 10 mm x 65 mm olmalıdır (Straube & Graham, 2009). Tahliye deliklerinin zaman içerisinde tıkanmaması için plastik delikli bir malzeme yerleştirilmelidir (Inspectapedia, n.d.).

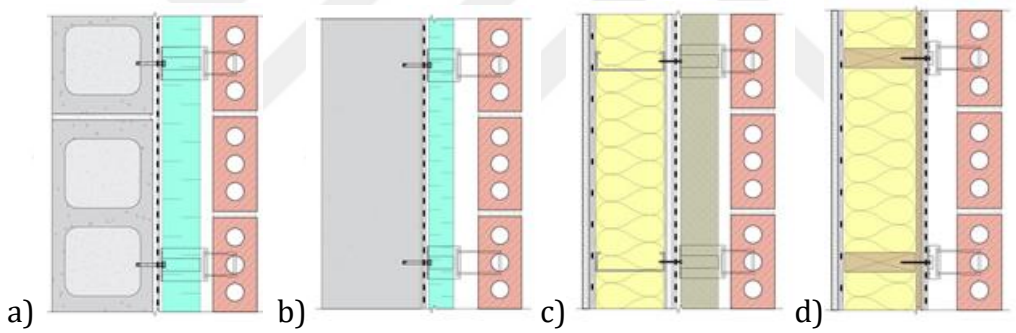


Şekil 2.11 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe drenaj delikleri ve kapatma malzemesi (Koester, 2014; Inspectapedia, n.d.)

Kalınlığı, yüksek iletkenliği ve ısı depolama kapasitesi nedeniyle tuğla kaplama, boşluktaki hava akışının termo-hidrodinamik davranışını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Hava akış hızı ise yangın hızını etkileyebilecek olan faktörlerden biridir. 20 mm hava boşluğuna sahip tuğla kaplamalı cephe sisteminde hava boşluğundaki hava hızı 0,03 ile 0,15 m/sn arasındadır (Van Straaten, 2004). 150 mm hava boşluğuna sahip tuğla kaplamalı cephe sisteminde ise hava boşluğundaki hava hızı 0,5 m/s dir (Patania vd., 2010). Yaz aylarında 60 mm hava boşluğundaki hava hızı maksimum 2,3 m/sn, kış aylarında ise maksimum 2 m/s dir (Stazi vd, 2020). 25 mm hava boşluklu tuğla kaplamalı cephede güneş ışınımına

maksimum maruz kalma sırasında, hava boşluğunda oluşan hava hızı maksimum değeri olan 0,18-0,25 m/s arasındadır (Hannan & Derome, 2007). Gözlemlere dayalı olarak, literatürde rapor edilen tek açıklıklı hava boşluklarında maksimum hava hızının çoğunluğu 0,7 m/sn'den düşüktür. Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu araştırmada ise minimum ile maksimum hava akış değerinin 0,007–2,25 m/sn aralığında olduğu belirtilmiştir (Rahiminejad & Khovalyg, 2021).

Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe türü betonarme, çelik strüktür çerçeve sistemine ve ahşap strüktür çerçeve sistemine göre uygun bağlantı elemanlarıyla mekanik olarak bağlanabilmektedir. Dolaylı sabitleme ve doğrudan sabitleme olmak üzere iki tip bağlantı türü mevcuttur. Dolaylı sabitleme yöntemi, binanın ana duvarının üzerine monte edilmiş düşey ve/veya yatay taşıyıcı profillere ankarajlar yardımı ile tuğla kaplamanın montajı sağlanmaktadır. Doğrudan sabitleme yöntemi ise, taşıyıcı cepheye ankrajlar ile doğrudan tuğla kaplama malzemesinin montajı yapılmaktadır (Şekil 2.12)(Young, vd, 2018).

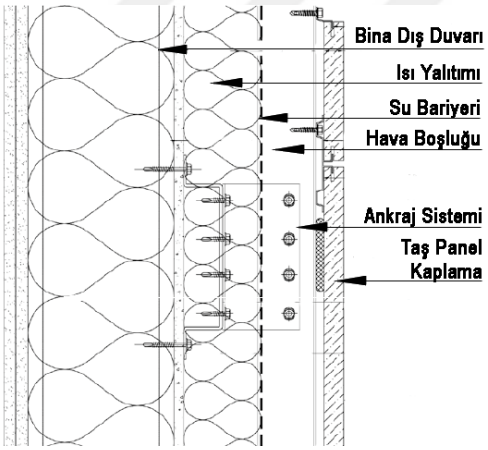


Şekil 2.12 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephenin a)CMU beton strüktüre b) beton strüktüre c) çelik strüktüre d) ahşap strüktüre montajı kesit çizimleri (Young, vd, 2018)

2.2.1.2 Taş Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Doğal ve yapay pek çok görünüme sahip taş malzeme spandrel alanlarda çokça kullanılmaktadır. Kendi özel konstrüksiyonu üzerine montajı yapılarak havalandırmalı giydirme cephe kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Piyasa incelemesi yapıldığında doğal taş kaplamanın kalınlığı 12 ile 40 mm arasında, derz genişliği ise 4, 6, 8 ve 10 mm olduğu görülmektedir. Kaplama derzleri kapalı veya açık olarak tasarlanabilmekte, yumuşak ve büyük boyutlu olan taşların arkasına fiber-polyester destek yapılmaktadır (Stonite, n.d.; Mass vd., 2011).

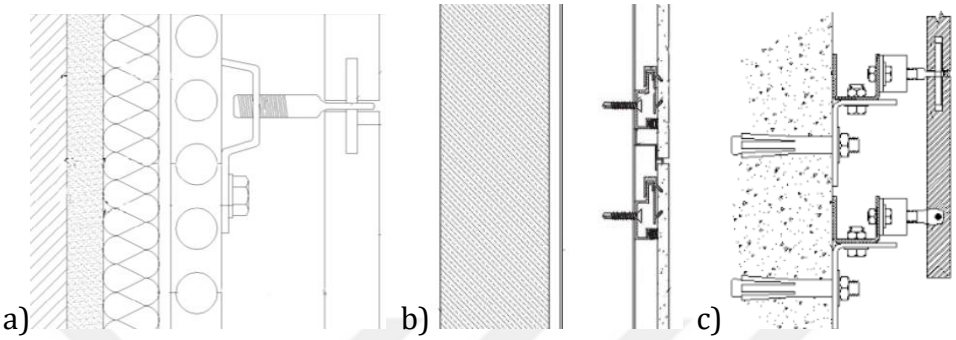
Kanada Ulusal Araştırma Konseyi'ne göre minimum hava boşluğu 25 mm olmalıdır. Havalandırma alanı toplam duvar alanının en az %2'si kadar olmalıdır (Mass vd., 2011). Balıkçı'ın çalışmasında bulunan uygulayıcı firmalardan alınan bilgilere göre ise hava boşluğunun projeye göre 40 mm ile 120 mm arasında değiştiği belirtilmiştir (Balıkçı, 2020). Cephe sisteminde tipik olarak bölmelerin üstünde ve altında açık alanlar bulunmaktadır. (Şekil 2.13) (Young, vd, 2018). 240 mm hava boşluğuna sahip taş kaplamalı cephe sisteminde yaz aylarında yapılan ölçümlerde hava boşluğundaki hava hızı açık derz ise 0,28 ile 0,73 m/sn arasındadır. Kapalı derz ise 0,03 ile 0,19 m/sn arasındadır (Marinosci vd., 2014). 25 mm hava boşluğuna sahip taş kaplamalı cephe sisteminde hava boşluğundaki hava hızı açık derz ise maksimum 0,19 m/s, kapalı derzde ise maksimum 0,07 m/sn dir (Gibson, 2013).



Şekil 2.13 Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Taylor Maxwell, n.d)

Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe türünün montaj tipi bağlanacağı sisteme göre değişiklik göstermektedir. Bu durumda betonarme, çelik strüktür çerçeve sistemine ve ahşap strüktür çerçeve sistemine ayrı sistemlerle mekanik olarak bağlanabilmektedir. Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde; profil bağlantı sistemi, klipsli bağlantı sistemi ve noktasal bağlantı sistemi olarak 3 farklı mekanik bağlantı sistemi mevcuttur. Profil bağlantı sistemi ile taşıyıcı ve tutucu bir sistem oluşturulmaktadır. Yatay veya düşey olan metal profillerin L tipi ankraj ile ana strüktür duvara bağlanmasıyla taşıyıcı sistem oluşturulmaktadır. Bu taşıyıcı sisteme belli aralıklarla yerleştirilen pimler taşları dört noktadan tutmaktadır (Şekil 2.14a). Tırnak bağlantı sistemi ise geçme yöntemi ile oluşturulan bir sistemdir. Gizli mekanik desteklere sahip bir taşıyıcı destek

sistemi, alüminyum destek profilleri yerleştirilmiş ve sabitlenmiş taş kaplamaların arka tarafına yerleştirilen oluklara geçirilerek sabit tutulmaktadır (Şekil 2.14b). Noktasal bağlantı sistemi, çelik dübeller ile bina ana strüktür duvarına direkt bağlantı yapılarak oluşturulur (Şekil 2.14c) (Stonite, n.d.; AGS Metal, n.d.; Arsenault, 2018).

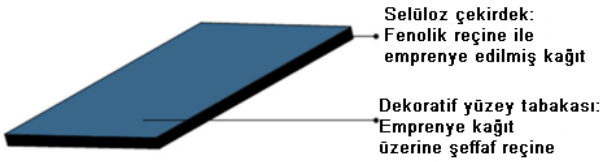


Şekil 2.14 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe a)profil bağlantı sistemi (Stonite, n.d.) b)tırnak sistemi (Axis Cephe, n.d.) c)noktasal bağlantı sistemi (Hastas, n.d.)

2.2.1.3 Yüksek Basınçlı Lamine Panel (HPL) Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

HPL paneller, yüksek yoğunluklu, gözeneksiz ve homojen tabakalı ahşap cephe kaplamasıdır. Bu paneller özel olarak tasarlanmış malzemeleri katmanlayarak üretilmektedir (Şekil 2.15). Hepsinde ortak olan, fenolik reçineler ve alev geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş çeşitli standart boyutlarda üretilmiş çok katmanlı kraft kağıt çekirdeğidir. Bu çekirdeğin üzerine, pigmentli poliüretan akrilik reçine ile emprenye edilmiş kraft kağıttan dekoratif bir katman veya bir melamin katmanı uygulanır (Arsenault, 2021). Bu şekilde panelin bitmiş görünümü sağlanır. Her iki durumda da malzemenin her iki tarafı, çekirdek üzerindeki yüzey katmanlarının seçimi ile dengelenir. Ardından, her iki taraf yüzeyi korumak ve malzemenin uzun ömürlü olamasını sağlamak için şeffaf poliüretan akrilik reçine ile kaplanır. Panel katmanları belirlenip birleştirildikten sonra, ısı ve basınç kullanılarak birbirine lamine edilir. Kaplama levhalar 2 mm ile 30 mm arasında kalınlıklara sahiptir (ILVA, 2019). Genel olarak cephe kaplamalarında 6-8-10 mm kalınlık uygulanmaktadır (Aluwall, 2020). Derzlerin minimum genişliği, panel kalınlığının minimum yarısı kadar olmalıdır. 10 mm'den büyük olan derzlerde, kaplamanın arka tarafına

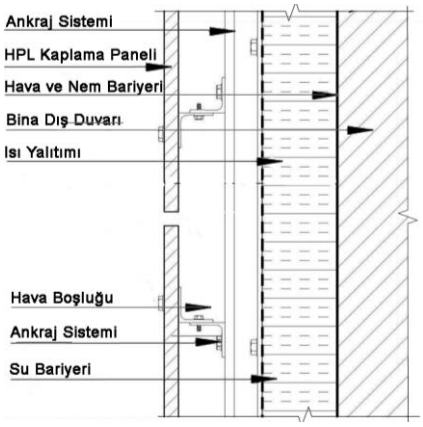
geçebilecek sinek ve haşereleri önlemek için derz arkasına ince ızgara sistemi uygulanmalıdır (Gentaş, n.d.).



Şekil 2.15 HPL kaplama paneli katmanları (Arsenault, 2021)

Panellerin yangın performansı, panellerin kalınlığına, yangın geciktirici kimyasalların içeriğine ve kullanılan yapıştırıcıya bağlı olarak değişmektedir. Yangın geciktirici içeren kaplama panelleri Euroclass sistemine göre B-s1, d0 sınıfı arasında sınıflandırılabilmekte, yangın geciktirici içermeyen paneller D sınıfına kadar düşebilmektedir (W. Government, 2018).

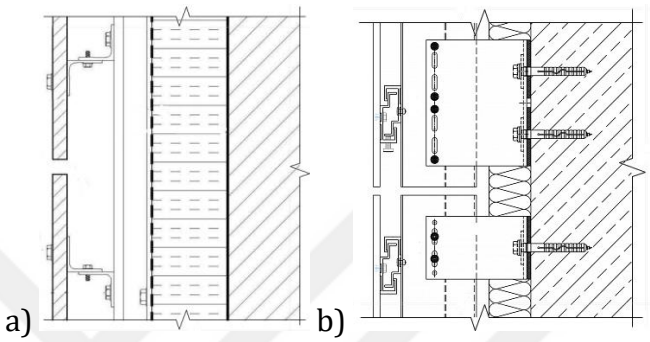
HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerde binanın strüktür duvarından sonra havaya dayanıklı bir bariyer sistemi kullanılmaktadır. Bu bariyer sisteminin üzerine ısı yalıtım malzemesi yerleştirilmekte, ısı yalıtım malzemesi olarak, polistren, poliizosiyanurat, perlit, taş yünü, cam yünü, mineral yünü gibi malzemeler kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemesinden sonra ise su bariyeri yerleştirilip hava boşluğu bırakılmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Realit, n.d.)

Hava boşluğunun genişliği binanın mimari özelliklerine ve kullanılan yalıtım malzemesine göre seçilmektedir. Literatürde yapılmış olan deneysel ve sayısal araştırmalarda ise hava boşluğunun genellikle 20 ila 50 mm arasında kullanıldığı görülmüştür (Rahiminejad & Khovalyg, 2021).

HPL panellerini destek sistemine sabitlemek için iki temel seçenek vardır. Biri, panellerin yüzü boyunca açıkta kalan bağlantı elemanları kullanmak (Şekil 2.17a), diğeri ise gizli bir tutturucu sistem (Şekil 2.17b) kullanmaktır. Gizli sistemler, HPL panellerinin arkasına sabitlenmiş ankraj veya klipslere karşılık gelecek şekilde tasarlanmış yatay alüminyum kanalların montajına dayanmaktadır. Yatay alüminyum kanallar ise binanın ana duvarına bağlanmış düşey profillere bağlanmaktadır. (ETA, 2016).



Şekil 2.17 HPL panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistemi a) görünür bağlantı b) gizli bağlantı montaj detayı (Realit, n.d.)

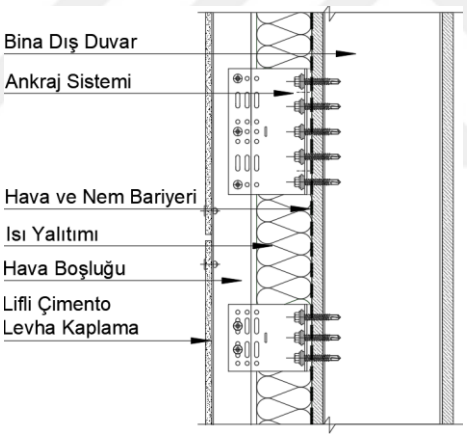
Hava boşluğunda bulunan hava akış hızı kaplamanın sıcaklığından etkilenmektedir. Gece saatlerinde açık derzli kaplamada hava hızı 0,3 m/sn'ye kadar ulaşabilmektedir (Labat vd., 2012). Güneş etkisi ile 15 mm açık derzli kaplamada, 50 mm hava boşluğu genişliğinde hava hızı maksimum 0,19 m/sn iken kapalı derzli kaplamada değer maksimum 0,07 m/sn dir (Gibson, 2013). 23 mm hava boşluğuna sahip kapalı derzli ahşap kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe için ise soğuk havalarda hava boşluğunda oluşan ortalama hava hızı değeri 0,21 m/sn dir (Nore, 2010). 27 mm hava boşluğa sahip olan açık derzli ahşap kaplama arkasında yer alan hava boşluğundaki hava akış hızı gece 0,1 m/sn ile 0,3 m/sn arasında değişiklik gösterirken sabah 0,9 m/sn'yi aşmaktadır (Labat vd., 2012). Ahşap kaplamanın arkasındaki hava boşluğunda oluşan hava hızı minimum 0,07 m/sn'nin üzerinde olup maksimum 1 m/sn'ye kadar ulaşabilmektedir. Ancak Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu literatür araştırmasında maksimum hava akışını 2,43 m/sn olarak bulunmuştur (Rahiminejad & Khovalyg, 2021).

2.2.1.4 Lifli Çimento Levha Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Lifli çimento levhalar, elyaf takviyeli çimento levha olarak tanımlanmaktadır. Doğal elyaf, mikronize edilmiş silika ve çimento hammaddelerinin özel bir makinada levha

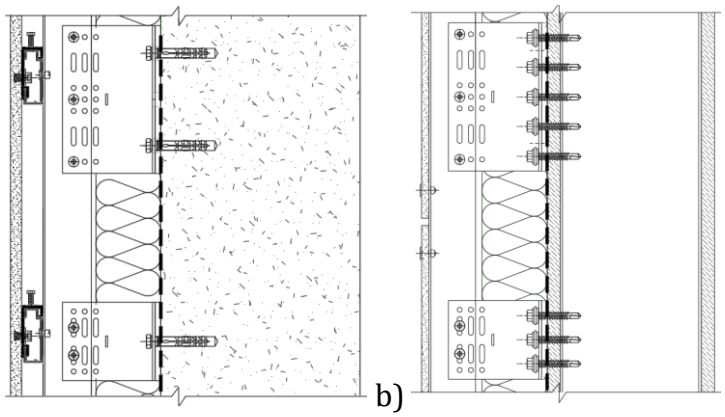
haline getirilmesi ve daha sonra otoklavlanması ile elde edilir. Lifli çimento levhaların dış cephe kaplama panelleri olarak kullanımı, dayanıklılıkları, yanmazlık özellikleri (A1) ve neme karşı dirençleri nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır (Hekim Yapı, n.d.; Tabadkani, 2015). Panel kalınlıkları 8 mm ile 18 mm arasında değişmektedir (Herzog vd., 2017).

Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerde binanın strüktür duvarından sonra havaya dayanıklı bir bariyer sistemi kullanılmaktadır. Bu bariyer sisteminin üzerine ısı yalıtım malzemesi yerleştirilmektedir. Sistemde ısı yalıtım malzemesinden sonra su bariyeri yerleştirilip hava boşluğu bırakılmaktadır (Şekil 2.18). Bu hava boşluğu ETAG 034-1'e göre en az 20 mm olmalıdır; literatürde ayrıca havalandırma hava boşluğunun 20 mm ile 50 mm aralığında olması gerektiği bilgisi de verilmektedir (Schabowicz vd., 2021). Ancak Balıkçı'ın çalışmasında uygulayıcı firmalardan alınan bilgilere göre ortalama 80 mm hava boşluğu bırakıldığı ve 20 ila 120 mm arasında uygulamaların da yapıldığı belirtilmiştir (Balıkçı, 2020).



Şekil 2.18 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Swiss Facades, n.d.)

Hava boşluğunda gerçekleşen yaygın sabitleme yöntemleri, açık sabitleme için perçinler ve gizli sabitleme için ankrajlardır (Şekil 2.19) (Swiss Facades, n.d.).



Şekil 2.19 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe a)perçinli montaj b) gizli montaj (Swiss Facades, n.d.)

Yangın hızını etkileyebilecek olan faktörlerden biri de hava boşluğunda oluşan hava akış hızıdır. 13 mm hava boşluğuna sahip lifli çimento levha kaplamalı cephe sisteminde bir katlı ve iki katlı cephe için sırasıyla soğuk gün vaka çalışmasında ölçülen maksimum değer 0,28 m/sn ve 0,33 m/sn'dir. Sıcak gün vaka çalışmalarında ise bir katlı cephe sistemi için 0,51 m/sn, iki katlı cephe sistemi için 0,63 m/sn çıkmıştır. En yüksek güneş ışınımının olduğu sırada yapılan incelemelerde ise hava hızı 13 mm, 19 mm, 25 mm ve 50 mm hava boşlukları için sırasıyla maksimum 0,51 m/sn, 0,57m/sn, 0,56m/sn ve 0,46 m/sn dir (Nghana, 2021). Çimento kaplama malzemesi için bakıldığında kış performansında ölçülen 150 mm hava boşluğunun hava akış hızı ortalama 0,15-0,20 m/sn dir (Prada, 2013). Akademik olarak yapılan çalışmalara bakıldığında, sayısal hesaplamalar ve deneylerden elde edilen verilere göre, çimento ve lifli çimento levha kaplamanın arkasındaki hava boşluğunda oluşan hava hızı 0,02m/sn'nin üzerinde olup maksimum 1 m/sn'ye ulaşabilmektedir (Rahiminejad & Khovalyg, 2021).

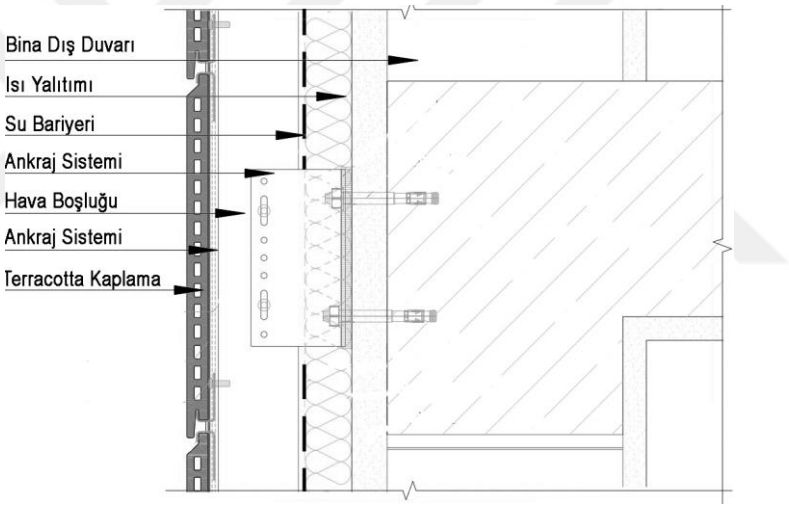
2.2.1.5 Seramik Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Terracotta ve seramik karolar havalandırmalı giydirme cephe sisteminde en yaygın kullanılan seramik kaplamalardır. Seramik kaplama malzemesi cephelerde, aşınma ve darbe dayanımı, düşük su emme özelliği, kolay monte edilebilmesi, dış hava şartlarına dayanıklı olması, çok sayıda renk ve ebat seçeneğine sahip olması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen malzemelerdir. Seramik malzemenin termal iletkenliği yüksek olmasına rağmen (Rahiminejad & Khovalyg, 2021), yangın sırasında yüksek direnim göstermekte ve A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme sınıfında yer almaktadır (BSI, 2022). Seramik ürünlerin ısı iletkenliği, hacim ağırlıklarının

azalması ile küçülür. Boşluklu seramik yüksek ısıya dayanıklılık yönünden diğer seramik çeşitlerinden önemli bir fark göstermektedir (Bohur, 2005).

Yapılan piyasa araştırmasına göre seramik kaplama malzemesi kalınlığı 15-40 mm arasında olmalı ve panellerinin arasında ki derzler 10-20 mm aralığında yapılmalıdır (Herzog vd., 2017).

Seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sisteminin bileşenleri içten dışa; taşıyıcı duvar, su bariyeri, ısı yalıtımı, hava ve nem bariyeri, hava boşluğu, kaplamanın destek taşıyıcı sistemi ve kaplama malzemesi şekilde sıralanmaktadır (Herzog vd., 2017). Günümüzde seramik panel kaplamalı cephelerde, paneller kendi ağırlığını, rüzgâr emiş ve basıncını, ısıl hareketini direkt taşıyıcı yapıya aktaran destek taşıyıcı bir sisteme sahiptirler. Alt konstrüksiyon paslanmaz çelik veya alüminyum malzemeden oluşur (Şekil 2.20) (Herzog vd., 2017).



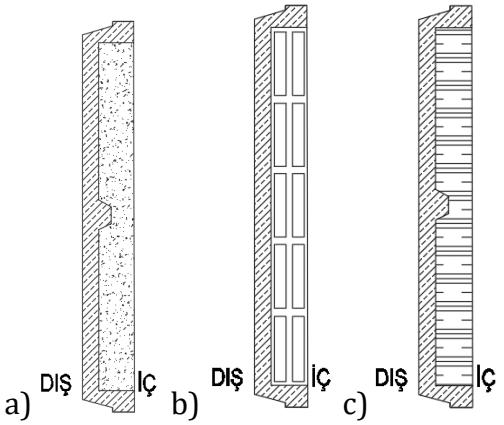
Şekil 2.20 Seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (AGS Metal, n.d.)

Havalandırmalı giydirme cephe uygulamalarında taşıyıcılığın etkilenmemesi için boşluk genişliğinin en fazla 120 mm olarak düzenlenmesi, ısı yalıtım malzemesinin görevini yerine getirebilmesi için ise yalıtım malzemesinden sonra en az 40 mm boşluk bırakılması önerilmektedir (Türkçü, 1997). Literatürde yapılan deneyler ve sayısal araştırmalarda ise hava boşluğu aralığının genellikle 40 mm ile 60 mm kullanıldığı görülmektedir (Rahiminejad & Khovalyg, 2021). Ancak Balıkçı'nın çalışmasında uygulayıcı firmalardan alınan bilgilere göre uygulamada ortalama 80 mm hava boşluğu bırakıldığı belirtilmiştir (Balıkçı, 2020).

Seramik kaplama malzemesi için bakıldığında yüksek güneş ışınımının olduğu performansta ölçülen 50 mm hava boşluğunun hava akış hızı 0,20 m/sn ile 0,25 ms/sn arasında (Sanjuan vd., 2011), 40 mm hava boşluğuna sahip cephe sistemlerinde hava hızı ise 0,6 m/sn dir. Literatürde yapılan araştırmalar doğrultusunda, hava boşluğundaki maksimum hava hızı seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerde 0,6 m/sn'den daha düşük olduğu saptanmıştır (Mesad vd., 2010; Sanjuan vd, ,2011; Rahiminejad & Khovalyg, 2021).

2.2.1.6 Prekast Beton Panel Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

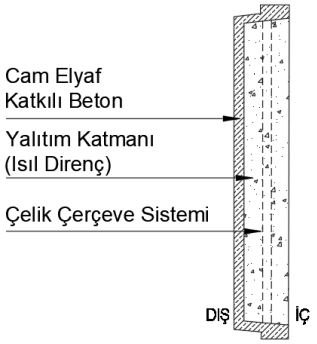
Havalandırmalı giydirme cephelerde kullanılan prekast beton panellerin kalınlığı minimum 7 cm'den başlayarak 16 cm kalınlığına kadar yapılabilmektedir. Panellerin uzunluğu 5 metreyi aşmamalıdır (Herzog vd., 2017). Prekast beton paneller, taşıyıcılık özelliği ve katmanlaşma düzenine göre yoğunluğu değişen beton harcı ve donatı elemanlarından oluşmaktadır. Beton esaslı prekast cephe panellerinin kesitte katmanlaşma düzenine göre sınıflandırılması bileşenlerinin sayısına bağlı olarak yapılmaktadır (Altınay, 2011). Prekast beton paneller, ağır prekast beton paneller, kompozit prekast paneller (bütünleşik yalıtımlı duvar panelleri), hafif prekast beton paneller (cam elyaf katkılı beton paneller) şeklinde 3 sınıfa ayrılmaktadır. Ağır prekast paneller havalandırmalı giydirme cephe kaplaması olarak kullanılmayan yapısal bir bileşendir. Kompozit prekast paneller ise, yalıtım katmanına sahip beton kaplama elemanıdır. Çift katmanlı ve çok katmanlı olacak şekilde 2 çeşit kompozit panel çeşidi vardır. Çift katmanlı prekast panel kesitinde genellikle iç katman ısı yalıtım özelliğine sahip bir malzeme kullanılırken dış katman beton panel olmaktadır. Bu ısı yalıtım malzemesi beton, tuğla, mineral yünler, polistren köpük gibi malzemelerden oluşturulabilmektedir. Ayrıca betonun çeşitli yoğunluklarda ve farklı oranlarda kullanılmasıyla da çeşitli çift katmanlı cephe panelleri elde edilebilmektedir. Panellerin kalınlığı en az 1 cm olmaktadır (Şekil 2.21) (Herzog, vd., 2017; Altınay, 2011).



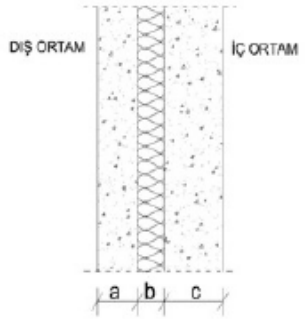
Şekil 2.21 Çift katmanlı cephe panelinde a) beton ve gaz betonun b) beton ve tuğlanın c) beton ve mineral yünlerin kullanımı (Altınay, 2011)

Çok katmanlı prekast panel kesitinde ise yalıtım katmanının önü ve arkası beton panel ile kaplanmış olacak şekilde üç veya daha fazla katmanın birleşmesinden oluşmaktadır (Altınay, 2011). Kaplama katmanı olan dış katman için minimum 7 cm maksimum ise 10 cm kalınlık önerilmektedir (Herzog vd., 2017). Isı yalıtım katmanının 4-10 cm, iç katmanın ise 8-10 cm olması gerekmektedir (Gedik, 2001).

Hafif prekast beton paneller (cam elyaf katkılı beton paneller) iki katmandan oluşmaktadır (Şekil 2.22). Birinci katman cam elyaf katkılı beton panel, ikinci katmanı ise ısı yalıtım katmanıdır. Isı yalıtım katmanı için çeşitli yoğunluklarda uygulanan hafif beton örnekleri olduğu gibi (köpük beton, polistren agregalı beton) mineral yünlerin (taş yünü) kullanıldığı çeşitler de mevcuttur (Şekil 2.23)(Altınay, 2011).

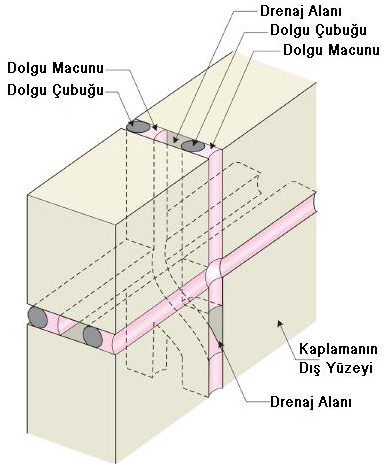


Şekil 2.22 Cam elyaf katkılı prekast beton cephe paneli (Altınay, 2011)



Şekil 2.23 Çok katmanlı panel, a)dış katman, b)ısı yalıtımı, c)dış katman (Altınay, 2011)

Prekast beton paneller su geçirmez olarak kabul edilmektedir. Bu durumda paneller arasındaki derzler açık veya kapalı derz olarak kullanılabilmektedir. Kapalı derz sistemi drenajlı iki aşamalı sızdırmazlık prensibiyle tasarlanmalıdır (Straube, 2013). Derz genişliği minimum 10 mm olmalıdır (Herzog, T., 2017). Derz sisteminde panelin genişliği boyunca ön ve arka kısmında bir destek çubuğu ve dolgu macunu bulunmaktadır. Ortasında ise bir boşluk bulunmakta ve bu boşluk dış tarafa açılmaktadır (Şekil 2.24). Dolgu çubuğu yapımında genel olarak polietilen malzeme kullanılmaktadır. Dolgu macununda ise esnek, polimer bazlı bir elastomerik malzeme kullanılmaktadır (Straube, 2013).

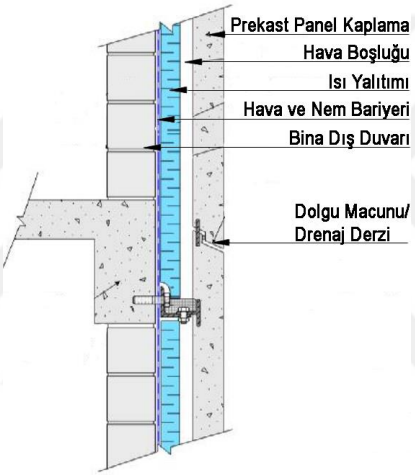


Şekil 2.24 Prekast beton panel drenajlı iki aşamalı sızdırmazlık derzi (Hachborn vd., 2017).

Prekast beton cephe panellerinin yangın dayanımını panellerin katmanlarında kullanılan malzemeler (yalıtım malzemesi, agrega cinsi), panelin kesit kalınlığı, derzlerde kullanılan malzemeler, sıcaklığın derecesi ve betonun ateşe maruz kalma süresi belirlemektedir. Beton katmanında kullanılan beton cinsi ve ısı yalıtım

katmanında kullanılan malzeme yangın dayanımı için önemlidir. Betonun agrega cinsine göre de yangın dayanımı değişmektedir. 600°C'ye birkaç saat içinde ulaşan sıcaklılarda beton mukavemeti % 50 düşmektedir. Sıcaklık 800°C'ye ulaşırsa betonun mukavemeti % 80 düşmektedir (Altınay, 2011).

Panelin kendi taşıyıcılığını sağlamak ve panele etkiyen yükün binaya aktarımını gerçekleştirmek için panel arkasında çelik çerçeve sistemi yer almaktadır. Bu sistem genellikle cephe panelinin üretimi sırasında panelin arka yüzüne çeşitli özel bağlantılar ile yerleştirilmektedir. Ana taşıyıcı duvara monte edilen düşey ve yatay profillere yerleştirilen ankajlar ile panellerin montajı gerçekleştirilmektedir (Straube, 2020).



Şekil 2.25 Prekast panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Straube, 2020).

2.2.1.7 Metal Panel Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Cephe malzemesi olarak kullanılan metallerin çoğu alaşımlıdır. Havalandırmalı giydirme cephe kaplama malzemesi olarak en yaygın kullanılan çeşitler ise çelik, paslanmaz çelik, titanyum, çinko ve alüminyumdur (Farrelly, 2017). Kaplama malzemesi olarak kullanılan bu metal levha çeşitleri, tek levha veya kompozit levha olarak ayrılmaktadır (Eşsiz, 2019).

Tek levha paneller boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Panelin et kalınlığı, kullanılan metalin boyutuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Titanyum çinko, kalınlığı 0.65 mm, 0.70 mm, 0.80 mm ve 1.00 mm olacak şekilde, 1000x2000 mm'lik tek levha halinde temin edilebilmektedir (Alemdağ & Nohut, 2016). Titanyum çinko 420°C'de erimektedir. Alüminyum malzeme ise iyi bir termal

iletkendir ve 660°C'de erimektedir (Alemdağ & Nohut, 2016). Paslanmaz çelik ise, yaklaşık 800°C gibi çok yüksek sıcaklığa kadar dayanıklıdır ve bu sıcaklıkta malzeminin %40'nı koruyabilmektedir (Yazgan, 2010).

Bu kaplama malzemeleri tek levha halinde kullanılabildikleri gibi kompozit malzeme olarak da kullanılabilmektedir. Kompozit metal paneller ise iki metal veya alüminyum panel arasına yerleştirilen yalıtım panelinin bütününden oluşmaktadır. Yalıtım özellikleri, buhar geçirmezlikleri ve mekanik kararlılıkları, kompozit eleman prensibinin genellikle bir cephe yüzeyinde kullanım için uygun olduğu anlamına gelmektedir (Herzog, 2017; Eşsiz & Ekici, 2004; Lamont & Ingolfsson 2018)

Kompozit kaplama olarak kullanılan titanyum çinko malzemesi en düşük 0,50 mm kalınlıkta kullanılabilirken alüminyum malzeme 0,25 mm kalınlıkta kullanılabilmektedir (Lamont & Ingolfsson, 2018).

Isı yalıtım çekirdek malzemesi olarak poliüretan, taş yünü, cam yünü, polistiren, polietilen kullanılmaktadır. Çekirdek malzemesinin kalınlığı cephede istenilen ısı yalıtım değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Kaplama panelinin toplam kalınlığı genellikle 4-6 mm arasında, çekirdek kalınlığı ise 2-4 mm arasındadır. Ancak bazı panellerin toplam kalınlığı 10 mm'ye kadar olabilmektedir (Lamont & Ingolfsson, 2018).

Alüminyum iyi bir termal iletkendir ve alüminyum kompozit panellerin alüminyum kaplamaları çok ince olduğundan, bir yangın kaynağından gelen ısı hızla çekirdeğe iletilmektedir. Kompozit malzemelerde PE çekirdek malzemesi sıkça kullanılmaktadır. PE çekirdek malzemesi güçlü bir şekilde yanmaktadır. Erime sıcaklığı çok düşüktür ve bu sıcaklığa ulaşıldığında PE damlamakta ve akmaktadır. Bağlayıcı bir malzeme olarak hareket etme yeteneği eridikçe bozulmakta ve alüminyum kaplama deforme olmaktadır (BR, 2016; Lamont & Ingolfsson 2018). Özellikle yüksek yapılarda sıkça tecih edilen bu malzeme yangının geniş bir alana yayılmasına neden olabilmektedir (İzoder, n.d.).

Alüminyum kompozit panelin çekirdeğinin neredeyse tamamının mineral lif olan ve bu lifi alüminyuma bağlamak için az miktarda polietilen içeren türleri ise sınırlı yanıcılığa sahip ürünlerdir. Dolayısıyla, alüminyum kompozit paneller çekirdek malzemeye bağlı olarak farklı yangın sınıflarında üretilebilmektedir. A2 sınıfına

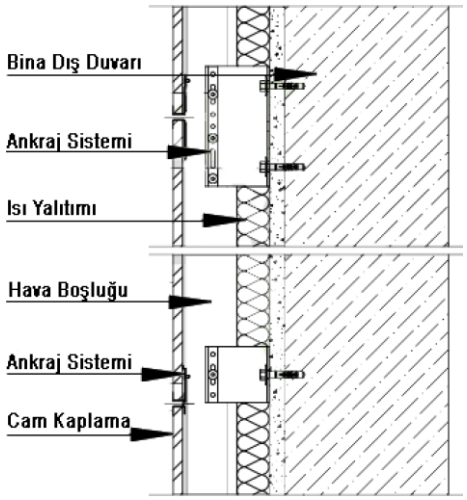
kadar çıkabilen mineral yün dolgulu ya da petek şeklinde boşluklu alüminyum dolgulu türleri bulunmaktadır (Güleşen & Yılmaz 2018).

TS 901-1 EN 13162 standartına göre metal kaplamalarda çekirdek malzemesi olarak kullanılan poliüretan ve polistiren malzemenin yanıcılık sınıfı B1, taş yünü ve cam yünü yanıcılık sınıfı ise A olmalıdır (Herzog, 2017; İzoder, n.d.; Eşsiz & Ekici, 2004; Lamont & Ingolfsson 2018).

Kompozit levhalı havalandırmalı giydirme cephelerde damlalık, denizlik, köşe profili kullanılmalıdır. Kaplama elemanlarının, binanın strüktür sistemine ankraj ile bağlanmış olan çelik çerçeve sistemine yardımcı bağlantı elemanları ile montajı gerçekleşmektedir. Kaplama arkasında oluşan hava boşluğu genellikle 40 mm olmaktadır (White & Delichatsios, 2014). Yapılan sayısal araştırmada 50 mm hava boşluğuna sahip metal levha kaplı havalandırmalı giydirme cephe sisteminde ortalama hava hızı maksimum 0,15 m/s değerindedir (Lopez vd., 2012).

2.2.1.8 Cam Kaplamalı Havalandırmalı Giydirme Cephe

Havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde genel olarak kullanılan cam çeşitleri arkası boyalı olanlardır. Alüminyum alaşımdan imal edilen yatay ve düşey profillere, panellerin arkasına sabitlenen gizli ankrajlar ile montajı yapılmaktadır (Şekil 2.26) (Aliva, n.d.). Paneller genellikle 6 veya 8 mm kalınlığında olmaktadır (Architecture Today, n.d.). Cam kaplamalar A yangın sınıfına sahiptirler. Cam yanıcı değildir, ancak yaklaşık 700 °C'de yumuşamaya başlar ve değişen sıcaklıklara karşı düşük dirençli olup, 60 K'nin üzerindeki sıcaklık farklılıklarına dayanımı çok azdır. Yangına dayanıklı camlar ise suyun buharlaşma ısısına dayalı olarak camı ateşten korumak için yapışkan folyolar ve sulu jeller kullanılarak yapılmaktadır. Yangına maruz kalan taraftaki cam kırıldığında, doğrudan ateşe maruz kalmayan taraftaki jel o cama bağlı kalır ve yavaş yavaş yangın yönünde su buharı salar, böylece radyan enerjisinin çoğu tüketilir. Bu camlar, emniyet camı ile birleştirildiğinde yangına uzun süre dayanabilmektedir. G sınıfı cam alev, duman ve gaz geçişini belirli bir süre için engeller, ancak radyan ısı iletimini engellemez. F sınıfı camlar ise hepsinin geçişini engellemektedir (Herzog vd., 2017). Cam kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe sisteminde 20 mm'lik hava boşluğundaki hava hızı yaklaşık 0,3 m/s dir (Koo vd., 2017).



Şekil 2.26 Cam kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe kesiti (Aliva, n.d.)

2.2.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Isı Yalıtım Ürünleri

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kayıp ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan yalıtım sağlamak amacıyla üretilmiş yüksek ısıl dirence sahip ürünlerdir. Yalıtım malzemeleri, uygulanan işleme yöntemlerine göre organik ve inorganik malzemeler olarak sınıflandırılır, grupların her biri doğal ve sentetik malzemeler olarak ayrılır. Havalandırmalı giydirme cephelerde yaygın olarak; polistiren, poliüretan(PUR), polietilen, poliizosiyanürat (PIR), fenolik köpük, taş yünü (mineral yün) ve cam yünü (fiberglas) ısı yalıtım türleri kullanılmaktadır (Lamont & Ingolfsson, 2018).

2.2.2.1 Polistiren Yalıtım Malzemesi

Polistiren, endüstriyel ölçekte üretilen ilk sentetik polimerlerden biridir. Sert, gözenekli, köpüklü plastik bir yalıtım malzemesi (Straube, 2020). Bu malzeme organik kökenli olup, 8 mm ile 100 mm arasındaki kalınlıklarda üretilmektedir. Cephe üzerinde direkt yalıtım amaçlı kullanılmanın yanı sıra alüminyum kompozit panelde çekirdek malzemesi olarak ta kullanılabilmektedir. Yalıtım paneli, organik olmasından dolayı yanıcı özelliktedir (Lamont & Ingolfsson, 2018). Malzeme özelliği nedeniyle yangının başlangıcından iki dakika sonra duman üretimini attırarak görünürlüğü azaltmaktadır (Şen, 2006). 70-80°C arasında yanmaya başlamaktadır. Ekspande Polistren (EPS) ve extrüde polistiren (XPS) olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. XPS 'in ısı iletim katsayısı 0,028-0,032 W/mK arasında değişkenlik gösterirken, EPS 'nin 0,035-0,040 W/mK arasındadır (Özer & Özgünler, 2018; Arslan & Aktaş, 2018; Dinamik, n.d.). Extrüde polistiren (XPS) köpük yalıtım

yanıcılık sınıflandırmasında E olarak sınıflandırılmaktadır. EPS yalıtım malzemesi kolay yanıcı olduğundan ve yanarken tehlikeli gazlar açığa çıkardığından imalat sürecinde genellikle bir yangın geciktirici ilave edilir. 80°C' den fazla sıcaklıklar karşısında yanarak özelliğini yitirir. Yangın dayanımları açısından sınıflandırıldığında, B1 (zor alevlenici) ve B2 (normal alevlenici) olan türleri de mevcuttur (Arslan & Aktaş, 2018).

2.2.2.2 Poliüretan Yalıtım Malzemesi

Poliüretan, organik kökenli sert bir yalıtım malzemesidir. Malzemenin alt ve üst yüzeylerine isteğe bağlı olarak bitüm kaplama, metal folyolar yapıştırılmaktadır (Özer & Özgünler, 2018). Cephe üzerinde direkt yalıtım amaçlı kullanılmanın yanı sıra alüminyum kompozit panelde çekirdek malzemesi olarak da kullanılabilmektedir (Al-Samarai, 2016). Poliüretan dolgulu alüminyum kompozit paneller DIN 4102 standardına göre B2 yanıcılık sınıfına sahiptir. Yanıcı bir malzeme olan poliüretan köpük, yangın başlangıcından 0,7 dakika sonra duman üretimini attırarak görünürlüğü azaltmaktadır (Şen, 2006). Poliüretan yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı en düşük 0,021W/mK iken en yüksek 0,04 W/mK dır (Özer & Özgünler, 2018). 10°C'de ortalama ısı iletkenlik katsayısı ise 0,023 W/mK dir (Altınay, 2011). 120°C'den fazla sıcaklıklarda deforme olup özelliğini yitirmektedir. Yangın esnasında hızlı bir şekilde alev almakta ve yoğun duman oluşumuna sebep olmaktadır. Yangın dayanımı açısında zor alevlenici B1 ve normal alevlenici B2 olabilmektedirler (Arslan & Aktaş, 2018).

2.2.2.3 Polietilen Yalıtım Malzemesi

Polietilen malzemeler etilen ve propiden hazırlanan polimerlerden oluşmaktadır. Esnek, yarı esnek, gözenekli, plastik esaslı ve organik kökenli bir yalıtım malzemesidir (Akıncı, 2007). Cephe üzerinde direkt yalıtım amaçlı kullanımının yanı sıra alüminyum kompozit panelde çekirdek malzemesi olarak da kullanılabilmektedir (Al-Samarai, 2016). Yalıtım malzemesi genel olarak bir veya iki yüzü yansıtıcı bir folyo ile birlikte kullanılmaktadır. Malzemenin kalınlığı ise 1 ile 30 mm arasındadır (Akıncı, 2007). İki adet alüminyum kaplama malzemesinin arasına yerleştirilen polietilen yalıtım malzemesi ise genellikle 3 ile 8 mm arasında üretilmektedir (Güleşen & Yılmaz, 2018). Polietilen termoplastik bir ürün olması nedeniyle erir ve damlar (Torero, 2018). Bu damlamaların gerçekleşmesi ile yangın

5 m mesafeye kadar aniden yayılabilmektedir (Arpacıoğlu, 2004). Düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Isıl iletkenlik katsayısı minimum 0,033 W/mK, maksimum ise 0,045 W/mK dır (Akelçi, 2016). 120°C'den fazla sıcaklıklarda deforme olup özelliğini yitirmektedir. Polietilen plastik yalıtım malzemesi herhangi bir yangına dayanım sınıfında yer almamaktadır. Yanıcı bir yalıtım malzemesidir (Güleşen & Yılmaz, 2018).

2.2.2.4 Poliizosiyanürat Yalıtım Malzemesi

Poliizosiyanürat düşük yoğunluklu, kapalı gözenekli organik hammaddelerden oluşan bir yalıtım malzemesidir. Cephe üzerinde direkt yalıtım amaçlı kullanılmanın yanı sıra alüminyum kompozit panelde çekirdek malzemesi olarak da kullanılabilmektedir (Al-Samarai, 2016). Yangın esnasında erimez ancak kömürleşir ve olduğu yerde kalır. PIR yalıtım malzemesi köpük yalıtım malzemeleri içerisinde en iyi yangın dayanımı olan malzemedir. Poliizosiyanürat ısındığında köpüklenir ve birim alan başına çok az ısı açığa çıkarır (60 kW/m2'den az). Herhangi bir harici ısıtma olmadığında, genellikle kütlesinin yaklaşık %60'ını kalıntı olarak bırakarak söner. 40 kW/m2'den fazla ısıtıldığında genellikle tamamen yok olur (Torero, 2018). Isı yalıtım katsayısı ise en az 0,018 W/mK, en fazla 0,027 W/mK dır (Arslan & Aktaş, 2018). 110°C'den yüksek sıcaklıkta deforme olmaktadır. DIN 4102 standardına göre B1 yangın sınıfındadır (Metal Panel, n.d.).

2.2.2.5 Fenolik Köpük Yalıtım Malzemesi

Fenolik köpük levha, fenol reçinesi ve şişirici olarak pentan gazının kullanılmasıyla üretilen organik bir yalıtım malzemesidir. Üretilen köpüğün her iki yüzü cam elyaf ile kaplanmaktadır. Kapalı gözenekli bir malzemedir. Isıl iletkenlik değeri düşüktür. Isı iletkenlik katsayısı en düşük 0,022 W/mK iken en yüksek 0,040 W/mK dır (Özer & Özgünler, 2018). Yangın dayanım sınıflandırması ise zor alevlenici B1 dir. Fenolik köpük, plastik ısı yalıtım malzemeleri içerisinde en yüksek yangın dayanımını gösteren malzemedir (Arslan & Aktaş, 2018). 120°C'nin üstündeki sıcaklıklarda deforme olmaktadır (Arge Yapı İzolasyon, n.d.).

2.2.2.6 Taş Yünü Yalıtım Malzemesi

Taşyünü inorganik hammaddelerden oluşan bir yalıtım malzemesidir. (Arslan & Aktaş, 2018). Düşük yoğunluklu taş yünü ısıl iletkenlik katsayısı 50°C ortalama

sıcaklık için 0,040 W/mK, yüksek yoğunluklu taşyünü için ise 0,035 W/mK dır (Altınay, 2011). Taşyünü yalıtımının ısıl iletkenlik katsayısı en düşük 0,035 W/mK iken en yüksek değer 0,05 W/mK'yı bulmaktadır. Yanıcılık sınıflandırmasında A1 sınıfında yer almaktadır (Özer & Özgünler, 2018). Taşyünü ısı yalıtım malzemesi yanmaz sınfına ait olmasına rağmen 250°C'nin üstündeki sıcaklılarda deforme olmaktadır (Arslan & Aktaş, 2018).

2.2.2.7 Cam Yünü Yalıtım Malzemesi

Cam yünü, silis kumu ve cam karıştırılarak üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Isı iletim katsayısı 0,040 W/mK dır. Cam lifleri sayesinde yangın dayanım sınıfı yanmaz A1 veya zor yanıcı A2 olabilmektedir. Ancak 250°C'den fazla sıcaklıklarda deforme olmaktadır (Arslan & Aktaş, 2018).

2.2.3 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Su Yalıtım Ürünleri

Su yalıtım malzemesi, yapıları suyun ve nemin zararlı etkilerinden korumaktadır. Malzemeler, kullanım amacı ve uygulanacak bölgeye göre; ortamdaki su basıncına, zeminin yapısına, yapıdan beklenen hareketlere, ürünün üzerine gelecek olası yüklere, iklim koşullarına ve yapıdaki detaylara göre seçilmelidir (Şen, 2006). Derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemli binalarda kullanılan cephe ve yalıtım malzemeleri en az zor yanıcı sınıfta olmalıdır (Şimşek, 2019). Ancak sentetik örtüler, havalandırmelı giydirme cephelerde yalıtım malzemesinin üstüne uygulanmasından dolayı en yaygın olarak kullanılanlardır. Firmaların geliştirdiği formülasyonlara göre; PVC (polivinilklorür), EPDM (etilen propilen dimonomer), CPE (klorosülfone polietilen), TPO (termoplastik poliolefin) çeşitleri bulunmaktadır. Bu malzemelerin arasında ise cephede kullanılan su yalıtım ürünü, yüksek dayanımı sebebi ile EPDM membrandır (İzoder Yalıtım, n.d.; Brn İzolasyon, n.d.).

EPDM ozona, UV radyasyonuna, yaşlanmaya ve kimyasal aşınmaya karşı mükemmel direnç sunan son derece dayanıklı ve hava koşullarına karşı olağanüstü direnç gösterdiği için, dış mekan uygulamalarında kullanım için en popüler kauçuk ürünlerden biridir. -40°C'den + 120°C'ye kadar sıcaklıklara direnç sağlamaktadır (Brn İzolasyon, n.d.). EPDM, aşırı sıcaklıklarda bile %300'ün üzerinde uzama ile doğal olarak elastik bir malzemedir. EPDM membranlar 0,5-2,5 mm kalınlık aralığında üretilmektedir (Lineflex, n.d.). Yüzeye mekanik olarak sabitlenerek

montajı yapılmaktadır (Lineflex, n.d.). EPDM membran malzemesinin yanıcılık derecesi E sınıfına girmektedir. Piyasa araştırması yapıldığında A ve B sınıfı EPDM membranlar mevcuttur fakat üretimi minimum 5 mm'den başlamakta ve maksimum 25 mm'ye çıkmaktadır (Effisus, 2021). Ancak kalınlığı 1 mm'ye kadar inen yangına dayanımlı (A1, A2, B1 sınıfı) EPDM malzemeden olmayan membran çeşitleri de mevcuttur (Obex, n.d.).

2.2.4 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Hava ve Nem Bariyerleri

Tüm havalandırmalı giydirme cephelerde kritik öneme sahip, güçlü, rijit ve hava geçirimsiz bir hava bariyeri sistemi gereklidir (Straube, 2011). Hava koşullarına dayanıklı bariyerler tipik olarak hava ve nem iletimini kontrol etmek için duvar boşluğunun sıcak tarafına yerleştirilir ve bazı durumlarda radyan veya iletilen ısı transferine yalıtım sağlar (White & Delichatsios, 2014). Amerika Hava Bariyeri Derneği tarafından hava ve nem bariyeri sınıflandırması;

- Mekanik olarak yapıştırılan bariyerler,
- Kendiliğinden yapışkanlı bariyerler,
- Sıvı uygulamalı bariyerler

olarak sınıflandırılmaktadır (White & Delichatsios, 2014; ABAA, n.d.).

Beton blok, alçı kaplama, kontrplak ve OSB gibi çeşitli yüzeylere uygulanabilir. Piyasadaki ürünlerin incelenmesine göre, mekanik olarak yapıştırılan bariyerlerin ve kendiliğinden yapışkanlı bariyerlerin yangın sınıflandırması E ile A sınıfı arasında değişiklik göstermektedir (Illbruck, n.d.; Kanyon Yapı, n.d.). B sınıfı olan ürünlerin damlama ve tutuşma özellikleri ise s1 d0 olmaktadır. Piyasada yangın sınıfı E olan membranlar ile ilgili yapılan bir deneyde yanıcı olmayan bir yalıtımın veya kaplama malzemesinin arkasına yerleştirildiğinde alevlerin yayılmasına katkıda bulunmayacağı sonucu bulunmuştur. EPDM membran tamamen tükenene kadar yanmaktadır.

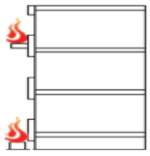
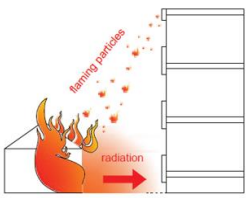
Sıvı uygulamalı bariyerler yaygın olarak, asfalt bazlı ve polimer bazlı olarak kullanılmaktadırlar. Ancak polimer bazlı bariyerin, asfalt bazlı bariyere kıyasla alt tabaka nemi gibi yüzey koşullarını daha fazla tolere ettiği bulunmuştur (Arsenault, 2014). Bu katman bina strüktür duvarına veya rijit bir yüzey üzerine

uygulanmaktadır.Bu sistem içerisinde uygulamanın yapılacağı bölgedeki derzleri kapatmak amacı ile önce bir bant uygulaması yapılır daha sonra sıvı bariyer sürülür. Bu malzemelerin yangın sınıfı piyasada E ile A arasında değişmektedir (Dryvit, n.d.).

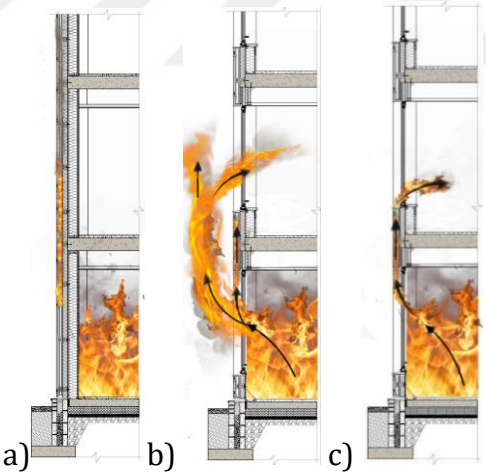
2.3 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yapılan Deneyler ve Meydana Gelen Yangınlar Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması

Yanma eylemi; yanabilir bir malzemenin bir yakıt veya oksijen (genellikle havadan) ile biraraya gelerek ısı ve ışık açığa çıkaran bir dizi çok hızlı kimyasal reaksiyon meydana getirmesi ile oluşmaktadır (Tenker, 1995; Stollard & Abrahams, 2002). Yangın dinamiğinin karmaşık yapısını incelemek için, yangını bileşen olgularına ayırmak olayı daha anlaşılır kılmaktadır. Yanmanın gerçekleşmesi için ortamda oksijen, ısı ve bir yakıt kaynağı parametreleri mevcut olmalıdır. Bu üç parametreden herhangi birinin çıkarılması reaksiyonu sonlandıracaktır (Stollard & Abrahams, 2002). Yangın binada cepheye sıçradığında yangının ilerleyişi cephenin özelliklerine bağlı olmaktadır. Cephede yangın üç farklı şekilde oluşabilmekte ve yayılmaktadır (Tablo 2.2)

Tablo 2.2 Yangının cephede var olma ve yayılma senaryoları (BRE, 2019; Rukavina, 2017; Yaman, 2018)

Yangın Yayılma Türü	Yangın Senaryosu	Görsel Anlatımı
Yangının cephe üzerinde başlayıp cephe üzerinden yayılması.	Işınım ve doğrudan yangına maruz kalma sonucu bina dışı yangının cepheye bitişik bir unsur (çöp torbası vb.) veya cephe elamanı nedeniyle cepheye sıçraması.	
Binaya dış ortamdan gelerek cephede yangın oluşması ve yayılması.	Cephe sisteminden belirli bir mesafede bulunan yangınlardan (örneğin bitişik bir binadaki yangından ve/veya dış ortamdaki araç konumlarından, çöp konteynırlarının binaya mesafelerinden, bitki mesafelerinden, baca konumlandırmalarından vb.) kaynaklanan, ışınım nedeniyle tutuşmaya neden olan dış yangın.	
Yangının içeriden cepheye yayılması.	Bina içindeki kapalı hacimde başlayan bir iç yangının, cephede bulunan (pencere, kapı) veya döşeme-cephe birleşimlerinde olan boşluklardan sızarak cepheye ulaşması ve yayılması. Boşluklar veya diğer gizli alanlar dahil olmak üzere iç açıklıklar yoluyla dış duvar sistemine yayılan bir bölme yangını.	

Havalandırmalı giydirme cephe sistemleri, yapı içi nemi azaltarak ve termal köprüleri kaldırarak yalıtımı büyük ölçüde sağlamakta ve bunları hava akışının yer değiştirmesi ile hava boşluğunda yapmaktadır (Bonner & Rein, 2018) Fakat bir binanın cephesine ulaşan yangın, bu hava boşluğunda aşağıdan yukarı doğru oluşan hava akışını kullanarak şekil 2.26'de gösterildiği gibi binanın üst katlarına kadar hızla yayılmaktadır. Alev, dış kaplama sistemindeki boşluklara girdiğinde kısıtlanmış olur dolayısıyla, yanma sürecini desteklemek için oksijen ve yakıt aramaya devam etmek ister ve yukarı doğru hareketine hızla devam eder. Bu hava boşluğu kaplama sistemindeki malzemelerden bağımsız olarak, mevcut alev uzunluğunun beş ila on katı kadar alevin uzamasına yol açabilir. Bununla birlikte hava boşluğunun duvarlarını oluşturan yalıtım ve kaplama malzemesinin de yanma süreci ile önemli bir bağı vardır. Ayrıca bu cephe sisteminin benimsemiş olduğu kaplama aralarındaki açık derz prensibi ile arkasında bulunan boşluk hava ile sürekli temas halindedir ve yanmanın kimyasal reaksiyonunu koruyan hazır bir oksijen kaynağıdır. Bu şekilde oksijen yanma olayına kalıcı olarak dahil edilmiş olmaktadır (Colwell & Martin, 2003).



Şekil 2.27 Havalandırmalı giydirme cephede yangın yayılım senaryoları a) boşluksuz cephe üzerinde yangın yayılımı b) boşluklu cephe üzerinde yangın yayılımı c) spandrel bölge üzerinde yangın yayılımı (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

Birçok etkenin bir araya gelmesiyle karmaşık bir hal alan havalandırmalı cephelerde yangın olayını ve yangın yayılımını daha iyi anlayabilmek adına 1991'den bu yana meydana gelen havalandırmalı giydirme cephelerdeki yangınlar incelenmiştir. Meydana gelen olaylarda yangın yayılım özelliklerine ve nedenlerine odaklanılmıştır.

2.3.1 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Meydana Gelen Yangınlar Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması

Water Club Tower, Borgata Casino Hotel Yangını, 2007, Atlantik, Amerika

2007'de meydana gelen Water Club Tower, Borgata Casino Hotel yangını 41 katlı olan Water Club otelinde 3. katta bir iç mekan yangını olarak başlamış ve cepheye sirayet etmiştir. Alüminyum kompozit panelin çekirdek malzemesi olan polietilen sıvılaşmış, paneller çökmüş ve yapıyı hızla saran yanıcı sıvı ve gazlar üretilmiştir (Şekil 2.28). İtfaiye ekiplerinin varışından 10-15 dakika sonra mevcut yakıtın hızla tükenmesi nedeniyle yangının büyük bir kısmının azaldığı bildirilmiştir (Fire Engineering, n.d.; White & Delichatsios, 2014). Düşey yangın yayılım hızı 15m/dk olarak belirtilmiştir (Torero ,2018).

Yapının cephesinde perde duvarın üzerine dekoratif bir kaplama olan 3 mm Alcan Alucobond® kompozit panel kullanılmıştır. Kaplama çekirdeğine yanıcı bir yalıtım olan polietilen malzeme yerleştirilmiştir (Chapman, 2018). Cephenin yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanılmıştır. Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde yangın kesici bariyer kullanılıp kullanılmadığı bilinmemektedir.



Şekil 2.28 Water Club binası yangın anı ve yangın durdurulduktan sonra çekilen cephe fotoğrafları (Folley, 2010)

Kaplama ve yalıtım malzemesinin yanıcı olması ve cephedeki hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının yayılım hızını arttıran sebeplerdendir.

TVCC Tower Yangını, 2009, Pekin, Çin

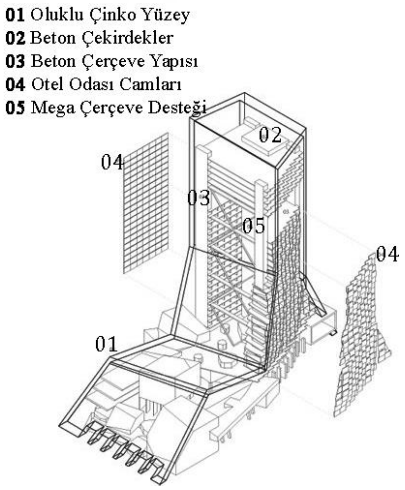
31 katlı (159 m) TVCC tower binasında 2009 yılında çatıda gerçekleşen havai fişek gösterisi sırasında yangın meydana gelmiştir. Havai fişeklerden çıkan yüksek sıcaklıklı parçacıklar çatının batı kısmına denk gelmiş, metal kaplama panellerine nüfuz etmiştir (Şekil 2.29). Alevler tüm cepheyi 20 dakika içinde kaplamıştır

(Paraskevas, 2009). Yangın yaklaşık beş saat sürmüştür. Bu sürede yapının yaklaşık %80'i yanmıştır (Pershakov vd., 2016). Düşey yangın yayılımı hızı yaklaşık olarak 8 m/dk olarak ölçülmüştür (Torero ,2018).



Şekil 2.29 TVCC Tower binasının yangından önce ve sonraki fotoğrafları (Peng vd., 2013)

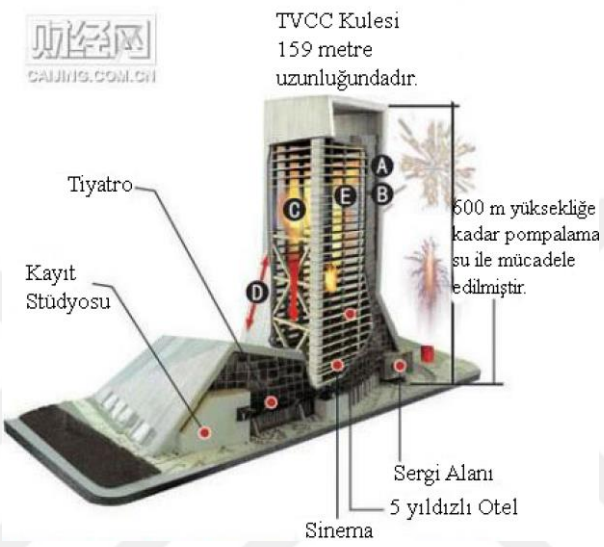
TVCC Tower'ın cephesi, kuzey ve güney ön yüzlerinde cam giydirme, doğu ve batıda ise titanyum-çinko alaşımlı metal panel kaplamadan oluşmaktadır (Şekil 2.30). Isı yalıtım için polistren (XPS) panel, su yalıtımı için ise EPDM membran kullanılmıştır. Hava boşluğuna sahip bu cephede yangın kesici bariyer kullanılmamıştır (Peng vd., 2013).



Şekil 2.30 TVCC Tower cephe sistemi diyagramı (Pasternack, 2007)

Cephedeki titanyum-çinko malzemeden yapılmış olan metal kaplama panelleri 400°C'de erimeye başlamıştır. Bu parçacıklar panellerin altındaki yalıtım malzemeleri ve su geçirmez tabakaların tutuşmasına neden olmuştur. Cephedeki korunmasız hava boşluğu nedeniyle baca etkisi olmuş, hızla esen rüzgârla beslenen yangın daha hızlı yayılmış ve 20 dakikadan daha kısa bir süre içinde kule tamamen

alevle kaplanmıştır. Bina cephe yangınlarının normalde aşağıdan yukarıya doğru yayıldığı bilinmektedir. Fakat bu yapıdaki yangının çatıdan alt katlara ve dıştan içe doğru yayıldığı gözlemlenmiştir. Binada kullanılan XPS yalıtım malzemesi erimiş ve alt katlara düşmüştür. Bu durum yangının yayılmasını hızlandırmaya ve ikincil yangınların oluşmasına neden olmuştur. Kaplama panelleri de binanın yoğun bir şekilde yanmasına katkı da bulunmuştur (Colic & Pecur, 2020; Peng vd., 2013). Alevler 80 ila 100 metre arasında yükselmiştir (Şekil 2.31)(Kanan & Beyhan, 2013).



Şekil 2.31 TVCC Kulesi alev yayılım diyagramı (Kanan & Beyhan, 2013)

Cephede yanıcı yalıtım ve kaplama malzemesi kullanılması, büyük hava boşluklarının bulunması, bu boşluklarda yangın kesici bariyerlerin olmamasından dolayı oluşan baca etkisi ve yangın esnasındaki rüzgâr yangının hızını arttıran sebeplerdir.

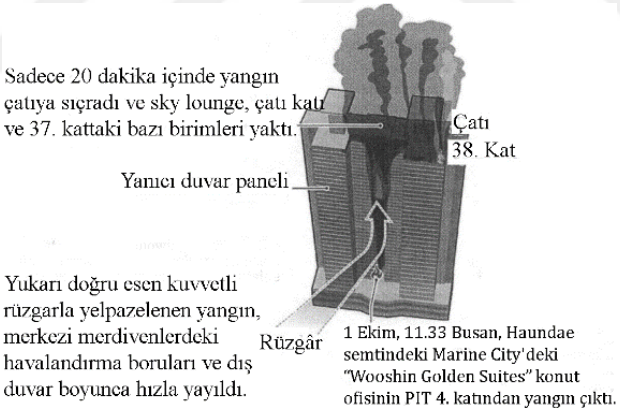
Wooshin Golden Suites Yangını, 2010, Busan, Güney Kore

2010 yılında Wooshin Golden Suites binasının içerisinde priz kaynaklı bir yangın meydana gelmiştir. Yangın 4. katta başlamıştır. Cephe kaplamasının yüzey sıcaklığı yükselmiştir. Çekirdek malzemesinin termal bozunmasıyla ortaya çıkan yanıcı gaz alev almış ve panelin erimeye başlamasıyla cephe yanmaya başlamıştır (Şekil 2.32).



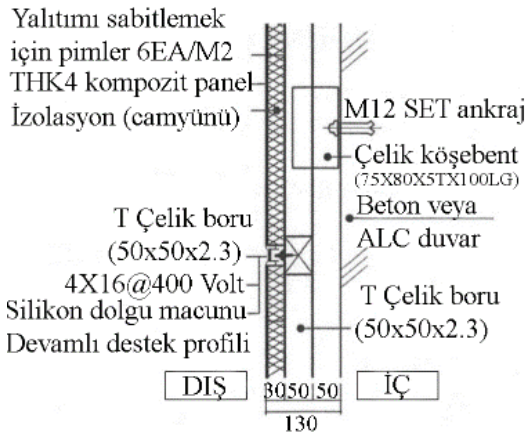
Şekil 2.32 Wooshin Golden Suits yangın anından ve yangın sonrasından fotoğraflar (FFSA, n.d.; Taejin & Soo-young, 2010)

Yüksek sıcaklıktaki gaz, cephede bulunan korumasız hava boşluğu boyunca yükselerek, cephedeki alüminyumun erimesini ve polietilen çekirdek malzemesinin yanmasını daha da hızlandırmıştır. Bu durum, yangın için yakıt görevi görmüş olup ikincil yangınları oluşturarak yangın yayılımını arttırmıştır. Cephe sisteminde yer alan hava boşluğunun korunmasız olması, yangının cephe boyunca yukarı doğru hızlı bir şekilde ve geniş bir alana yayılmasına neden olmuştur (Şekil 2.33). Yangının, binanın 4. katından 38.'i katına ulaşması 20 dakika sürmüştür (White vd., 2013; BRE, 2019; Kim vd., 2011).



Şekil 2.33 Wooshin Golden Suites yangın yayılımı (Kim vd., 2011)

Havalandırmalı giydirme cepheye sahip olan yapının cephe kaplama malzemesi polietilen çekirdek dolgulu alüminyum kompozittir. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır (Şekil 2.34). Hava boşluğu 50 mm olan cephe sisteminde yangın bariyeri kullanılmamıştır. Cephe geometrisi U şeklinde tasarlanmıştır (Kim vd., 2011).



Şekil 2.34 Wooshin Golden Suits cephe sistem kesiti (Kim vd., 2011)

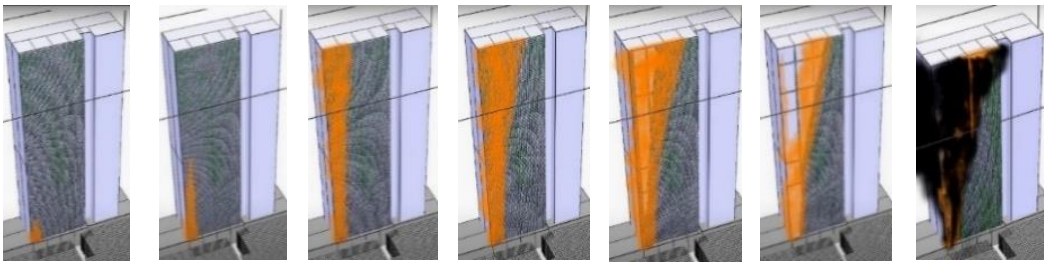
Cephenin U şeklinin baca etkisi yaratması, kaplama malzemesinin yanıcı olması, denizden esen rüzgârın yangın esnasında etkin olması, cephede yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması ve cephedeki hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının hızını arttıran sebeplerdir (White vd., 2015; BRE, 2019; Kim vd., 2011).

Polat Tower Yangını, 2012, İstanbul, Türkiye

2012 yılında meydana gelen yangın, bir arıza sonucu kablo izolelerinin ve plastik aksamların tutuşması ile başlamıştır. Alevler ilk olarak birinci katta görülmüştür. Alevler, dış cephe yalıtım malzemesiyle beton yüzey arasında hararet yükü oluşturmuştur. Bu hararet yükü, binanın doğu cephesinin kuzey köşesinden ısı yalıtım malzemesinin bütünlüğünün bozulduğu alanda mevcut alucobond cephe kaplama malzemesinin iç yüzey alüminyumu ile ara yüzeydeki polistren kaplamayı tutuşturmuş ve dış alanda alevli yanmaya dönüşmüştür. Hava sirkülasyonu etkisiyle dış cephenin tüm yüzeyi kısa sürede yanmıştır (Tesisat, n.d.). Alevler 66 cm/s hızla üç buçuk dakikada cephede 34 kat (140 m) boyunca yayılmıştır (Şekil 2.35, Şekil 2.36) (Haberler, n.d.; Soğukoğlu & İnce, 2013).

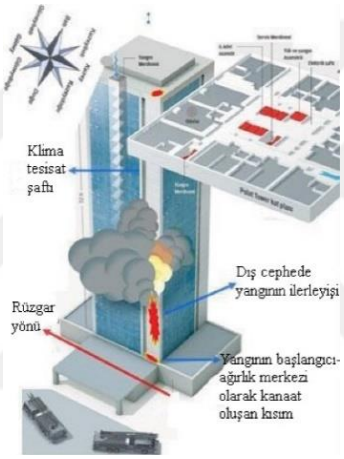


Şekil 2.35 Polat Tower binasının yangın öncesi, anı ve sonrası fotoğrafları (Mimdap, n.d.; Goodenough, 2012)



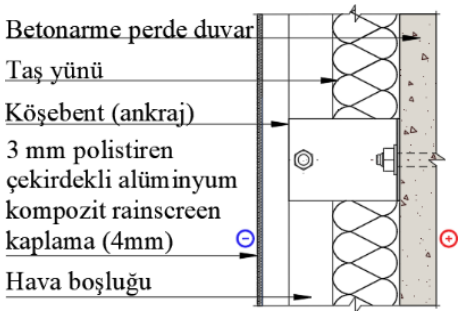
Şekil 2.36 Polat Tower yangın yayılımı CFD modellemesi (Alkazar, 2012)

Cephedeki hava sirkülasyonu etkisi ile alevler tüm yüzeye kısa sürede yayılmış ve cephede yangın bariyerlerinin kullanılmaması baca etkisi sebebi ile yangının hızını arttırmıştır. Yangın esasında cepheden düşen parçalar çevrede tehlike oluşturmuştur (Şekil 2.37) (Atasoy, 2012; BRE, 2019; Antonatus, 2013).



Şekil 2.37 Polat Tower binasının yangın ilerleyiş diyagramı (Küçük, 2012)

Polat Tower'da cephe kaplama malzemesi olarak 0,5 mm kalınlığında iki alüminyum levha arasında sıkıştırılmış 3 mm kalınlığında polistren çekirdekten oluşan metal kompozit kaplama malzemesi olan alucobond kullanılmıştır (BRE, 2019). Yalıtım malzemesi olarak ise taşyünü tercih edilmiştir. Hava boşluğuna sahip olan Polat Tower cephe sisteminde yangın bariyeri kullanılmamıştır (Şekil 2.38) (Haberler, n.d.; Soğukoğlu & İnce, 2013).



Şekil 2.38 Polat Tower cephe sistem kesiti (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

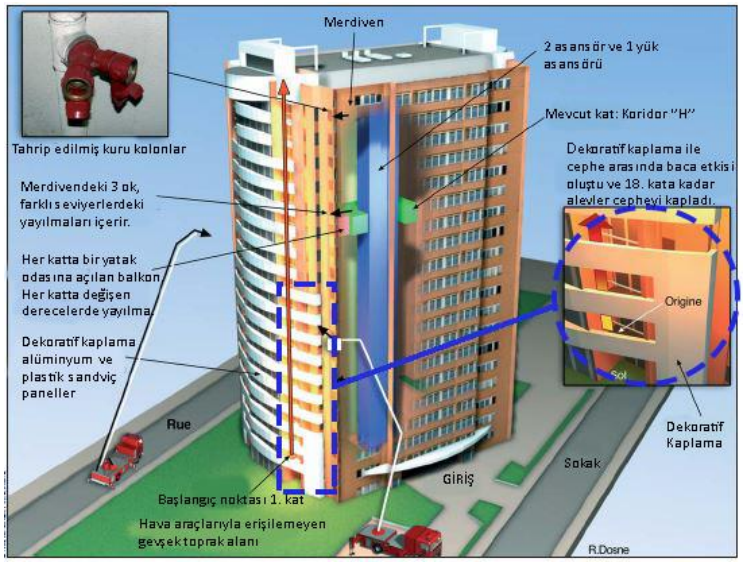
Kaplama malzemesinin yanıcı olması, ısı yalıtım malzemesinin bütünlüğünün bozulması, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması ve cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının hızını arttıran sebeplerdir.

Mermoz Tower Yangını, 2012, Roubaix, Fransa

2012 yılında Mermoz Tower'da meydana gelen yangın ikinci kat balkonunda çıkmıştır. Alevler cephe üzerinden düşey yönde ilerlemiş ve binanın en üst katına kadar yayılmıştır. İkinci katta başlayan yangın 5 dakikadan kısa bir süre içerisinde kaplamayı tutuşturup, kattan kata sıçrayarak birkaç dakika içinde binanın çatısına ulaşmıştır (Şekil 2.34). Balkon kaplama levhaları 10 dakika boyunca yangına yakıt şeklinde katkıda bulunurken, cephede yangın bariyeri bulunmamasından dolayı hava boşlukları baca etkisi oluşturmuş ve alevlerin daha hızlı bir şekilde yayılmasına neden olmuştur (Şekil 2.39, 2.40) (White vd., 2013; Dosne, 2021).

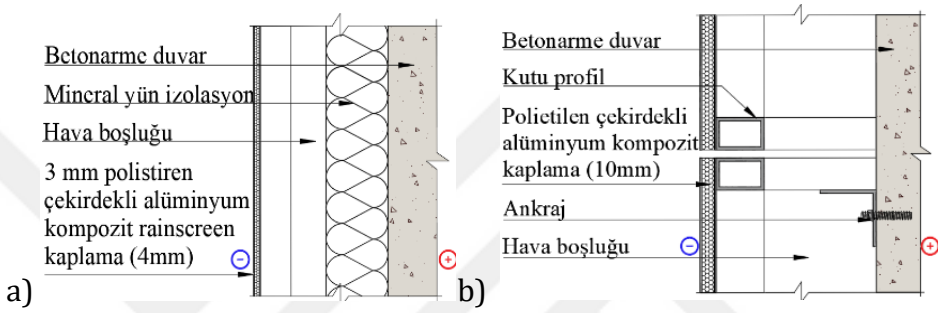


Şekil 2.39 Mermoz Tower binasının yangın esnasında ve sonrasındaki fotoğrafları (Dosne, 2021)



Şekil 2.40 Mermoz Tower yangın yayılım şeması (Dosne, 2021)

Mermoza Tower'da cephe kaplaması olarak, 1. katta fermo-fenolik dekoratif levhalar kullanılmış olup, diğer 17 katın tümünde 0,5 mm kalınlığında iki alüminyum levha arasında 3 mm kalınlığında polietilen çekirdeğe sahip metal kompozit kaplama malzemesi kullanılmıştır. Binadaki balkonların ön yüzünde 10 mm kalınlığında plastik çekirdekten oluşan alüminyum kaplama malzemesi kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak mineral yün tercih edilmiştir. Havalandırmalı giydirme cephe sistemine sahip olan Mermoz Tower'ın hava boşluğunda yangın bariyeri kullanılmamıştır (Şekil 2.41) (White vd., 2013; Dosne, 2021).

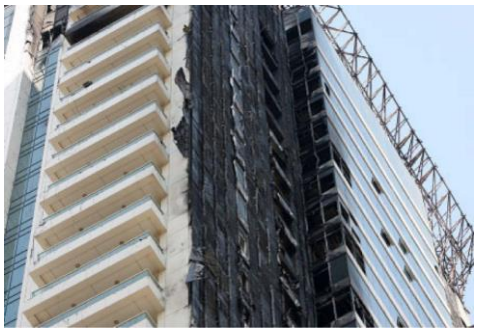


Şekil 2.41 Mermoz Tower a) cephe sistem kesiti b) balkon cephesi sistem kesiti (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

Kaplama malzemesinin yanıcı olması, ısı yalıtım malzemesinin bütünlüğünün bozulması, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması, cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması ve balkonların önünde kullanılan dekoratif kaplamaların konumu yangının hızını arttıran sebeplerdir.

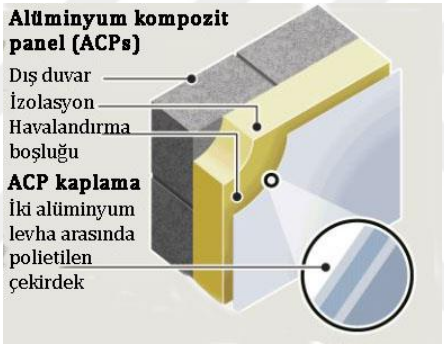
Tamweel Tower Yangını, 2012, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri

2012 yılında meydana gelen Tamweel Tower yangını, binanın çatısında başlamış ve cepheye sıçrayarak binanın yarısını kısa sürede sarmıştır. Zeminden çatı seviyesine kadar iki ayrı, geniş, düşey dış cephe kaplama şeridi yanmıştır. Fotoğraf ve videolardan yapılan incelemelere göre, yangının hızlanması ve aşağıya doğru yayılmasında en önemli etkenler yangın esnasında kaplamanın erimiş döküntülerinin aşağıdaki katlara düşmesi ve yapıda bulunan hava boşlukları olarak saptanmıştır (Şekil 2.42) (White vd., 2013; White vd., 2015; Yaman, 2018). Düşey yangın yayılımı yaklaşık olarak 16 m/dk olarak belirtilmiştir (Torero, 2018).



Şekil 2.42 Tamweel Tower yangını (White vd., 2015)

34 katlı (160m) Tamwell Tower binasında cephe kaplama malzemesi olarak 3mm polietilen çekirdek dolgulu 0,5 mm alüminyum kompozit panel kullanılmış (Şekil 2.43), yalıtım malzemesi olarak ise poliüretan (PUR) malzeme kullanılmıştır (Ahmed, 2021).



Şekil 2.43 Tamweel Tower alüminyum kompozit kaplama katmanları (Graphic News, n.d.)

Kaplama malzemesinin yanıcı olması, yangın esnasında etkili olan rüzgar, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması, cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının hızını arttıran sebeplerdir.

Grozny-City Towers Yangını, 2013, Çeçenistan, Rusya

2013 yılında Grozny-City Tower'da meydana gelen yangın, üst katlardaki bir klimanın kısa devre yapması nedeniyle çıkmıştır. Binanın yangın güvenlik sistemi devreye alınmamış ve bu nedenle sprinkler veya hidrantlara su beslemesi olmamıştır. Yangın, zemin seviyesinden çatıya kadar cephenin 18.000 m2'sini sarmıştır. Alevler cephenin üç yüzünü iki saat içerisinde kül etmiştir (Şekil 2.44) (Russia Former Soviet Union, n.d.). Olayda düşey yangın yayılım hızının yaklaşık olarak 9,5 m/dk olduğu belirtilmiştir (Torero, 2018).



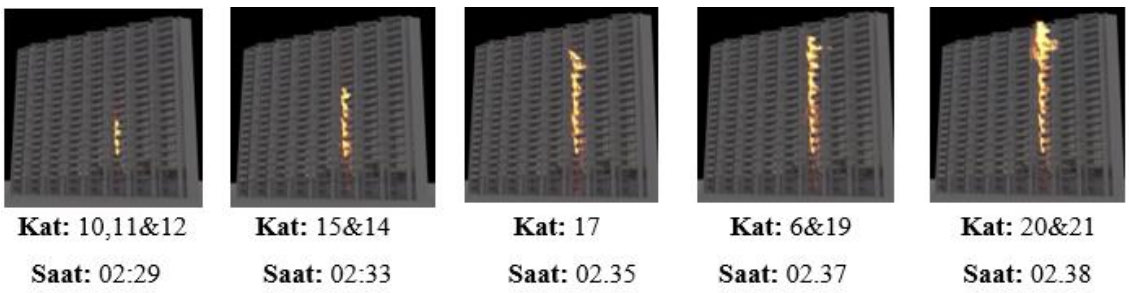
Şekil 2.44 Grozny-City Tower'ın yangın esnasından ve sonrasından görüntüler (Russia Former Soviet Union, n.d.)

40 katlı (150 m) olan Grozny-City Tower'ın cephe kaplama malzemesi olarak polietilen çekirdekli metal kompozit panel kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi ise plastik levha olarak tercih edilmiştir (Torero, 2018). Cephe sistemindeki hava boşluğunda yangın kesici bariyer kullanılmamıştır (RT82, n.d.).

Kaplama malzemesinin yanıcı olması, cepheye etkiyen yangın esnasındaki yüksek rüzgâr, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması, cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının hızını arttıran sebeplerdir.

Lacrosse Building, 2014, Melbourne, Avustralya

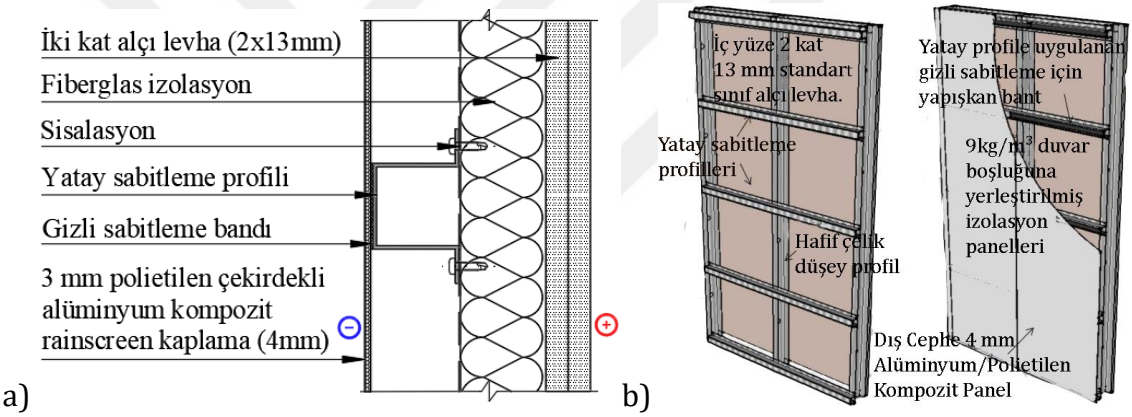
2014 yılında Lacrosse binasında sekizinci katta başlayan yangın kısa sürede cephe kaplamasını tutuşturmuş ve cephe sisteminde bulunan yanıcı malzemenin de etkisiyle hızla binanın üst katlarına yayılmıştır. Yangın, sekizinci kattan aşağıya doğru iki katıda etkileyerek çatı dahil yukarı doğru tüm katlara ulaşmıştır. Yangının tüm katlardaki cepheye birleşik iç odalara da nüfus ederek altıncı kattan 21. kata ve oradan çatıya ulaşması 10 dakika sürmüştür (Şekil 2.45) (Badrock&Bryant, 2014).



Şekil 2.45 Lacrosse building yangın simülasyonu (Abc News, n.d.)

Binadaki yağmur suyu tahliye borusunda bulunan yangın tasmaları etkin bir şekilde çalışmamış ve bu da yangının ilerlemesine sebep olmuştur (Badrock&Bryant, 2016; Genco, 2015; Badrock, 2016; Dunstan, 2019).

Lacrosse building cephe katmanları içten dışa sırasıyla; alçı levha, fiberglass yalıtım, sisalasyon, çelik ankaj, çelik çıtalar, sac üzerine alüminyum kompozit panel şeklinde tasarlanmıştır. Cephe kaplaması olarak Alucobest kullanılmıştır (Şekil 2.46). Kullanılan cephe kaplaması A tipi Avustralya inşaat yönetmeliğine aykırıdır. Havalandırmalı giydirme cephe sistemine sahip olan Lacrosse Building'in hava boşluğunda yangın bariyeri kullanılmamıştır (Şekil 2.46). Cephede bulunan hava boşluğuna yağmur suyu tahliye borusu ve elektrik kabloları, yağmur suyu tahliye borusunun çevresine ise yangın tasmaları yerleştirilmiştir (Badrock&Bryant, 2016; Genco, 2015; Badrock, 2016).



Şekil 2.46 Lacrosse building a) cephe sistem kesiti ve b) cephe kaplama sistemi (Çalışkan & Korkmaz, 2023; Badrock & Bryant, 2014; NAMBA, 2021)

Cephe balkon kısımlarında, balkon döşemesinin ön yüzü ile alüminyum kaplama malzemesinin bitiş noktası arasındaki mesafe 450 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kısımda bulunan hava boşluğunda da yangın kesici bariyer kullanılmamıştır (Şekil 2.47) (Badrock & Bryant, 2014; Faudzi & Dodd, 2021).



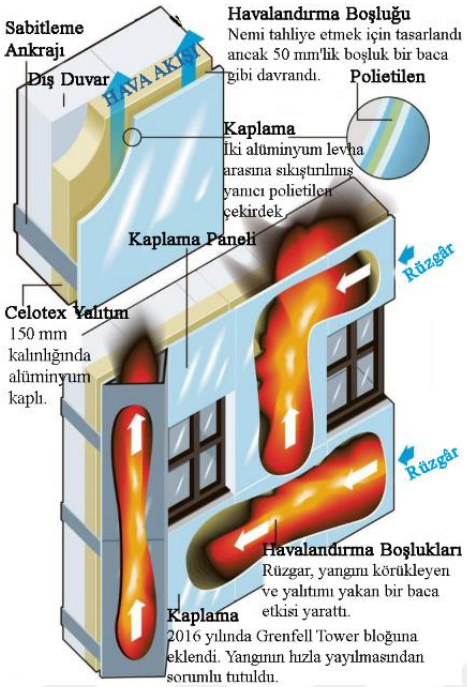
Şekil 2.47 Lacrosse building balkon bölgesi tasarımı ve yangın hasarı tespiti (Badrock & Bryant, 2014; Faudzi & Dodd, 2021)

Balkonun dış yüzeyinde kullanılan Alucobest alüminyum kaplamanın, köpük kaplamanın ve cephede bulunan hava boşluğunun yangın yüküne ve yayılım hızına olumsuz yönde katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Yangının hızlı bir şekilde düşey yönde yayılmasının dış kaplama ile doğrudan ilişkili olduğu yangın raporlarında da belirtilmiştir (Badrock & Bryant, 2016; Genco, 2015; Dunstan, 2019).

Kaplama malzemesinin yanıcı olması, cephe malzemelerinden düşen parçalar, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması, cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangının hızını arttıran sebeplerdir.

Grenfell Tower Yangını, 2017, Londra, İngiltere

Grenfell Tower binası cephesinde 2017 yılında yangın meydana gelmiştir. Yangın dördüncü katta bulunan bir buzdolabı sebebiyle çıkmıştır. Pencerelerin etrafındaki zayıf sızdırmazlık kompartımanları nedeniyle başlangıçta doğrudan cephenin hava boşluğuna yayılmıştır (Şekil 2.48) (White & Delichatsios, 2015).



Şekil 2.48 Grenfell Tower'da alevlerin cephe sisteminde ilerleyiş diyagramı (Parker, 2017)

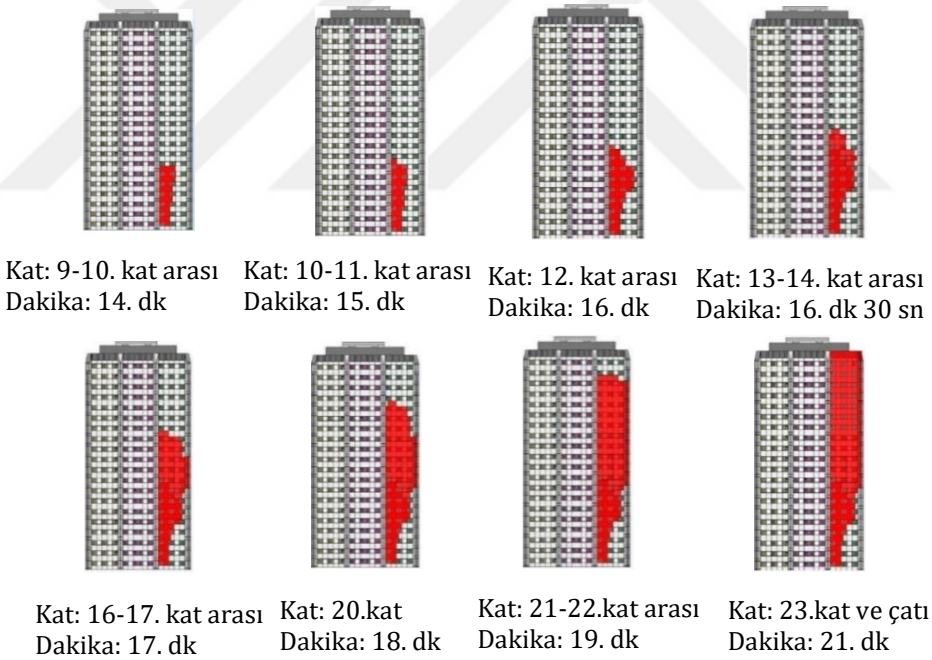
Yangın, aşama 1a, 1b ve 2 olmak üzere 3 aşamada gerçekleşmiştir. Aşama 1a dakika 0 ile dakika 9 arasında (Şekil 2.68), aşama 2 ise dakika 14 ile dakika 21 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 2.69). Aşama 1b ise 9. ve 14. dakikalar arasında yer almakta ancak herhangi bir fotoğraf veya video kaydı olmaması sebebiyle grafiksel olarak yer almamaktadır. Ancak ilk aşama olan 1a'nın 9.dakikada çekilmiş son görüntüleri ile aşama 2'nin 14. dakikada çekilmiş ilk görüntülerinden yola çıkarak aşama 1b'de yangın yayılım hızının cephede azaldığı tespit edilmiştir. Bu aralıkta yangının binanın içine sirayet ettiği düşünülmektedir (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019).

Aşama 1a için (Şekil2.49); alevler ilk olarak dördüncü kattaki pencerenin etrafında görülmüş ve bu yangın başlangıcının ilk kanıtı olmuştur. Yangın başlangıçtan yedi dakika sonra dördüncü ve beşinci kat arasında orta seviyede görülmüş, yaklaşık bir dakika sonra ise beşinci ve altıncı kat arasına ulaşmıştır. Dokuzuncu dakikada alevler yedinci ve sekizinci kat arasına yükselmiştir (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019).



Şekil 2.49 Grenfell Tower doğu cephesi düşey yangın yayılımı aşama 1a (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019)

Aşama 2; 14. dakika itibariyle başlamış olup, yangın tekrar hızlanmış ve dokuzuncu ve onuncu kat arasına alevler yükselmiştir. Bu aşamada, alevlerde ve yangın yayılım hızında belirgin bir artış görülmüştür. 15. dakikada'de birinci ve on birinci kat arasına alevler ulaşmıştır. 19. dakikada yangın 20. katı geçmiş, 21. dakikada binanın en üst noktasına ulaşmıştır (Şekil 2.50) (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019).



Şekil 2.50 Grenfell Tower doğu cephesi düşey yangın yayılımı aşama 2 (Guillaume vd., 2019; Koohkan vd., 2019)

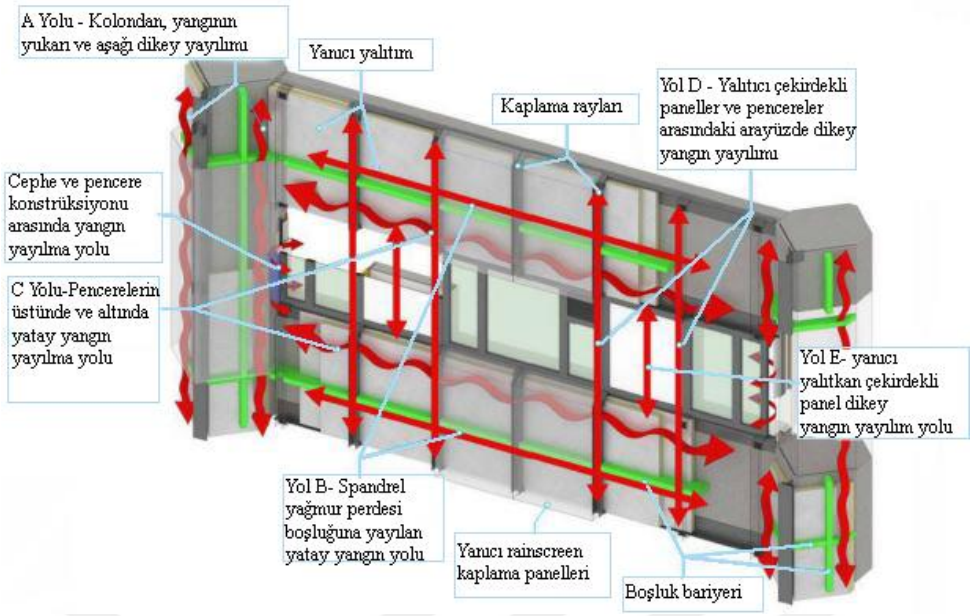
Dördüncü katta cephe tutuştuktan sonra, zaman içinde düşey yayılma doğrusal olmuştur. Yangın altıncı kata ulaşana kadar düşey yangın yayılma hızı yaklaşık 3,5 m/dk olarak hesaplanmıştır. Ardından yangının yayılması aşama 2'de yavaşlamıştır. Bir süre sonra yangının yayılması güçlü bir şekilde hızlanmıştır. Yangın binanın tepesine ulaştığında maksimum düşey yangın yayılma hızı 8 m/dk olarak

hesaplanmıştır. Yatay yayılımın tepe seviyesinde en yüksek olduğu kanıtlanmıştır (0,293 ± 0,005 m/dk). Yatay yangın yayılma hızı ile yükseklik arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (Guillaume vd., 2019). Alevler binanın tepe noktasına ulaştığında yatay olarak saat ve saat yönünün tersi olacak şekilde her iki yönde de yayılmaya başlamıştır. Yangın başladıktan 21 dakika sonra tepe noktasına ulaşmıştır. 28. dakikada alevler cephenin tepe noktasında düşey yangın bariyerlerini geçmiş ve binanın doğu ve kuzey cephelerinde ayrı ayrı yatay yayılma görülmeye başlanmıştır. 90. dakikada alevler binanın güney cephesinde görülmeye başlamıştır (Şekil 2.51). 120. dakikada alevler binanın batı cephesinde görülmeye başlamış, 160. dakikada yangın binanın güneybatı köşesine ulaşmıştır. 180 dakika sonra tüm cephelerde yangın yatay olarak birleşmiştir (Guillaume vd., 2019).



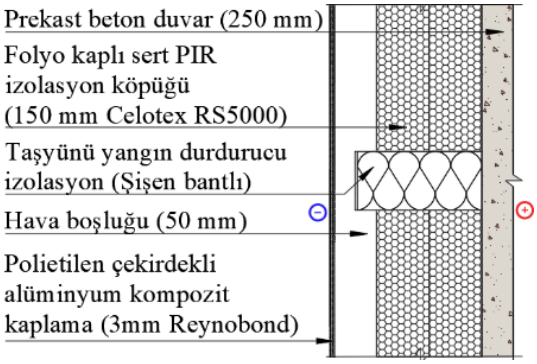
Şekil 2.51 Grenfell Tower'ın tüm cephelerinde meydana gelen yatay yangın yayılım şeması (PA Graphics, 2018)

Yatay alev yayılma hızı her iki yön içinde ortalama 0,3 m/dk olarak tahmin edilmektedir (Guillaume vd., 2019). Cephenin bir bölümündeki yangın yayılım şeması şekil 2.52'de yer almaktadır.



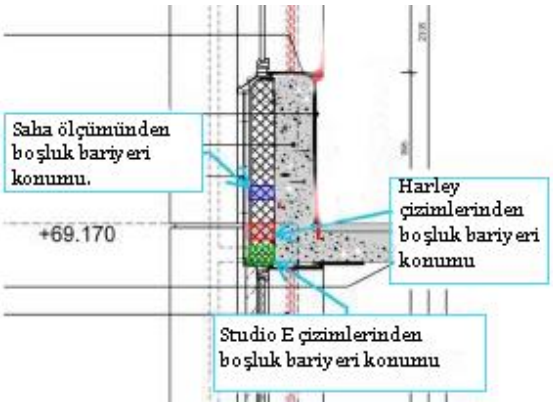
Şekil 2.52 Grenfell Tower'da alevlerin cephedeki hava boşluğundaki ilerleyişi (Lane, 2018)

Grenfell Tower'da bulunan havalandırmalı giydirme cephe sistemi, 150 mm sert poliizosiyanürat köpük panel yalıtım, 3 mm metal kompozit kaplama paneli ve 250 mm prekast betondan oluşan kaplama ve 50 mm havalandırma boşluğu şeklinde oluşturulmuştur (Şekil 2.53). Hava boşluğunda yangın kesici bariyer kullanılmıştır. Yangın kesici bariyerden sonra kalan hava boşluğu ise 25 mm olarak belirlenmiştir (Lane, 2018)



Şekil 2.53 Grenfell tower havalandırmalı giydirme cephe sistem kesiti (Çalışkan & Korkmaz, 2023)

Hava boşluklarında kullanılan yangın bariyerleri az sayıda ve başarısız şekilde (yerleştirilen konum ve adet olarak) kullanılmıştır (Şekil 2.53, Şekil 2.54) Yangın bariyerlerinin konumu için, tasarım aşamasında onaylatılan çizimler ile sahada tespit edilenler arasında fark görülmüştür (Lane, 2018).



Şekil 2.54 Grenfell Tower cephe sistemindeki yangın bariyerleri için yerleşim şemasındaki proje farklılıkları (Lane, 2018)

Kaplama malzemesinin yanıcı olması, yangın kesici bariyerlerin projeye uygun montajının yapılmaması, ısı yalıtım malzemesinin ve yangın bariyerinin bütünlüğünün bozulması ve korumasız kalan hava boşluğunun baca etkisi yaratması yangın hızını arttıran sebeplerdir.

1990'dan 2021'e kadar meydana gelen havalandırmalı giydirmen cephe yangınlarından; binaların cephe kaplaması, cephe yalıtım malzemesi, cephede yer alan hava boşluğu özellikleri, yangın bariyerleri, düşey yangın yayılım alanları, yangın yayılım süreleri ve hızları tespit edilmiş, bu veriler yapılan deneyler ile karşılaştırılmak amacıyla Tablo 2.3'de verilmiştir. Meydana gelen olaylarda verilmemiş olan yangın yayılım hızı yaklaşık değerleri;

$$\textit{Ortalama Yangın Yayılım Hızı}\ (\frac{m}{dk}) = \frac{\textbf{Kat Sayısı x Kat Yüksekliği (m)}}{\textbf{Yangın Yayılım Süresi (dk)}}$$

formülü[1] ile m/dk cinsinden bulunmuştur. Bulunan değerler tablo 2,3'de (*) işareti ile belirtilmiştir. Meydana gelen yangın olaylarında ki tüm cephe malzemelerinin bilgisine ulaşılamamasından dolayı bu formül ile yangının cephe üzerindeki ortalama yangın yayılım hızının bulunması amaçlanmıştır. Cephe üzerinde yangının başladığı ve bittiği noktalar arasındaki düşey mesafenin, yangının bilinen başlangıç ve bitiş süresi arasındaki farka bölünmesi ile ortalama yangın yayılım süresini bulunmuştur (Çalışkan & Korkmaz, 2023).

[1] Formül, yangın davranışlarını belirleyen bazı etkenler ve kantitatif yaklaşımlar makalesinde belirtilen R: dx/dt (Yangının sabit yayılma hızı: m/dk) formülünden türetilmiştir [Öymen, T., 1985].

Yayılım hızı verilmiş olan veriler için ise tablo bütünlüğü açısından m/dk cinsine getirilmiştir. Meydana gelmiş olaylarda yangın yayılım hızı bilinmeyen yapılar için bu hesapta kullanılacak yaklaşık kat yüksekliği, yapının toplam kat yüksekliğinin kat sayısına bölünmesi ile bulunmuştur. Bu hesaba göre kat yükseklikleri Wooshin Golden Suites için 3,7 m, Mermoz Tower için 2,7 m, Lacrosse Building için 3,6 m, Neo 200 Building için ise 3,1 m alınmıştır (Çalışkan & Korkmaz, 2023). Bu doğrultuda, Tablo 2.3'de karşılaştırma değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2.3 1990-2021 yılları arasında meydana gelen havalandırmalı giydirme cephe yangınları değerlendirme tablosu (Çalışkan & Korkmaz, 2023'den derlenmiştir)

Değerlendirme kriterleri / Meydana gelen yangınlar		Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı		Hava boşluğu (mm)	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yayılım Hızı
		Malzeme	Kaplama Kalınlığı	Çekirdek kalınlığı	Malzeme	Kalınlık					
Meydana Gelen Yangın Olayları Analizi	Knowsley Heights	GRP	-	Yok	MW	100 mm	90 mm	Yok	1-11. kat ve çatı	-	-
	Düsseldorf Havaalanı	ACM-Polistren (asma tavan)	-	-	Strafor	80 mm	-	Yok	Asma tavan	8 dk	-
		Cam	-	-	Yok	Yok	70 cm	Yok	1. katın tamamı	28 dk	-
	Water Club Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Polistren	-	-	Yok	3-41. kat ve çatı	-	15 m/dk
	Rin Grand Hotel	ACM-Polistren	0,5 mm	3 mm	Yanıcı Yalıtım	-	-	Yok	1-11. kat ve çatı	-	-
	Millennium Bussiness Center	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Yanmaz Yalıtım	-	-	Yok	19 kat	-	-
	TVCC Tower	Titanyum Çinko Alaşımlı Metal Panel	-	-	Polistren (XPS)	-	-	Yok	31 kat	20 dk	8m/dk
	Wooshin Golden Suites	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Cam yünü	30 mm	50 mm	Yok	4-38 kat	20 dk	6,29 m/dk*
	Bucharest Ofis Binası	ACM-PE	-	-	Yanmaz Yalıtım	-	-	Yok	-	-	-
	Polat tower	ACM-EPS	0,5 mm	3 mm	MW	-	-	Yok	1-34 kat (140m)	3,5 dk	39,6 m/dk
	Mermoz Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	MW	-	-	Yok	2-18 kat ve çatı	6-7 dk	6,2 m/dk*
	Tamweel Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	-	-	-	Yok	1-34. kat	-	16 m/dk
	Al Tayer Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	-	-	-	Yok	1-40. kat ve çatı	-	-
	Grozny-City Tower	ACM-PE	-	-	Plastik Levha	-	-	Yok	40 kat	-	9,5 m/dk
	Krasnoyarsk Apartmanı	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Yanmaz Yalıtım			-	1- 25. kat	1-2 dk	-
	Lacrosse Building	ACM-PE (balkon)	0,5 mm	9 mm	Yok	-	-	Yok	6-21. kat ve çatı	6-7 dk	7,7 m/dk*
		ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Fiberglass	-	-	Yok	6-21. kat ve çatı	10 dk	5,4 m/dk*
	The Marina Torch Binası	ACM-PE	-	-	-	-	-	-	51-79. kat	-	-
	Al Nasser Tower	ACM	-	-	-	-	-	Yok	3-36. kat	-	-
	Reem Island Tower	ACM	-	-	-	-	-	Yok	28 kat	-	-
	Bakü Residential Flats	ACM-Poliüretan	-	-	-	-	30 cm		1-16.kat	-	110 m/dk
	Saif Belhasa Building	ACM-PE	-	-	-	-	-	Yok	2-13.kat	-	-
	Address Downtown Hotel	ACM-PE	-	-	-	-	-	-	14- 63. kat	5 dk	22m/dk
	Ajman One Complex	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	-	-	-	-	30 kat	-	-
	Grenfell Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Folyo kaplı PIR	150 mm	50 mm	Var	4-23. kat ve çatı	21 dk	6. kata kadar 3,5 m/dk Çatıda 8 m/dk
	Gaziosmanpaşa Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi	ACM-XPS	-	-	Organik esaslı yalıtım malzemesi	-	-	Yok	Bodrum 2-10.ka	-	-
	Neo 200 Building	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	-	-	-	Yok	22-27.kat	5 dk	3,1 m/dk *
	Samhwan Art Nouveau Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Cam yünü	-	100 mm	Yok	12-33. kat	-	-

Gerçek zamanlı bu yangın olayları gösteriyor ki, havalandırmalı cephe sistemine sahip binalarda meydana gelen bir yangında, alevler cepheye sirayet edebilmekte, cephe malzemelerini tutuşturabilmekte ve cephe malzeme katmanları arasındaki boşluklara yayılabilmektedir. Bu durumda ise yangını kontrol altına almak zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bu tür yayılmaları önlemek için hava boşluklarındaki ve bağlantı detaylarındaki yangın bariyeri kullanımı ve cephe malzemelerinin yangına dayanım performansı önemlidir. Havalandırmalı cephelerde baca etkisi sebebi ile kritik bir rol oynayan hava boşluğu, yanıcı olmayan elemanlarla kurgulansa bile birçok farklı katmanı içeren, malzeme seçimi ve farklı boyutsal tasarımlarla çok sayıda farklı tasarım olasılığına sahip olan bu cephe sistemi test edilmeye ihtiyaç duymaktadır. Konu ile ilgili yapılmış deneyleri incelemek ve farklı çalışmalardan elde edilen sonuçları bir araya getirmek, havalandırmalı cephelerde yangın güvenliği açısından malzeme kullanımının ve sistem detayı çözümlemelerinin yorumlanmasında büyük önem taşımaktadır.

2.3.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Yapılan Deneyler Üzerinden Yangın Yayılımının Yorumlanması

2017 yılında meydana gelen Grenfell Tower yangınının ardından Babrauskas 2018 yılında yaptığı çalışmasında, cephelerin yangın güvenliğini sağlamak için kullanılan büyük ölçekli yangın deneylerinin öneminden bahsetmiştir (Babrauskas, 2018). Birçok araştırmacı havalandırmalı giydirme cephelerde enerji etkinliği düşürülmeden baca etkisinin ortadan kaldırılması ve yangın yayılımının sınırlandırılması amacıyla farklı sistem detaylarına sahip deney numuneleri oluşturarak farklı zamanlarda çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir.

2.3.2.1 Ondrus ve Petterson'ın Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Bu çalışmalardan biri Ondrus ve Pettersson tarafından 1968'de İsveç Lund Teknoloji Enstitüsü Bina Yangın Güvenlik bölümünde yapılmıştır. Araştırmacılar 13 farklı malzeme ve detay konfigürasyonuna sahip havalandırmalı giydirme cephe numunesinde deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda, yapısal detaylandırmanın ve malzeme kombinasyonlarının sistemin yanıcılık performansı üzerinde malzemenin tutuşabilirliğinden daha fazla etkiye sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır (Ondrus & Pettersson, 1968). Çalışmada hava boşluğunun etkisinin

önemli olduğu tespit edildikten sonra hava boşluğu genişliğinin yangın üzerindeki etkisi ile ilgili araştırmalara devam edilmiştir.

2.3.2.2 Taylor ve Choi'nin Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Taylor ve Choi tarafından 1984'te cephe sisteminde bulunan hava boşluğunun yangına etkisini saptamak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada, farklı alev yayma derecelerine sahip köpük yalıtım malzemelerinin, havalandırmalı giydirme cepheler üzerindeki etkisini ölçmek ve hava boşluğu ile ilişkisini saptamak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney düzeneklerinde kullanılan boşlukların genişlikleri 12.5, 15, 25 ve 40 mm olarak belirlenmiş ve bu şekilde beş adet deney düzeneği oluşturulmuştur (Tablo 2.4).

Tablo 2.4 Taylor ve Choi deney analiz tablosu (Taylor & Choi ,1984)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Yalıtım	Hava Boşluğu Genişliği	İç Duvar Malzemesi	Yangın Bariyeri
1	Alçı levha	Poliüretan	12,5 mm	Kalsiyum silikat kaplama cam elyaf yalıtımlı panel	YOK
2		Poliüretan	15 mm		
3		Poliüretan	25 mm		
4		Polistren	25 mm		
5		Poliüretan	40 mm		

Hava boşluğu 25 mm olan poliüretan yalıtıma sahip deney düzeneğinde yangın alev kaynağından 2 m yukarıya ulaşmıştır fakat bu durum yalıtımın daha fazla yanmasına neden olmuştur. 25mm hava boşluk genişliğine sahip polistren yalıtım ile yapılan deneyde ise tüm yalıtım erimiş ve boşluğun büyümesine neden olmuştur. Aradaki farkın sebebi, poliüretan kömür oluşturan bir malzeme iken polistrenin piroliz sıcaklığına ulaşmadan önce eriyen bir termoplastik olmasıdır (Taylor & Choi, 1984). 25 mm hava boşluğuna sahip deney düzeneklerinde 2,3 metreden ölçülen ortalama sıcaklık değerleri, yalıtımı olmayan deney düzeneğinde 220°C olarak saptanırken, yalıtımı olan deney düzeneğinde ortalama sıcaklık 220°C'yi geçmiştir. Bu doğrultuda, yanıcı yalıtım malzemesinin yangının bir sonraki kata yayılma olasılığını büyük ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir (Taylor & Choi, 1984).

Hava boşluğu 12,5 ve 15 mm olan deney düzeneklerinde ise yangın alev kaynağından 1-2 m yukarıya ulaşmıştır. 40 mm boşluk genişliğine sahip ve poliüretan yalıtım kullanılan deney düzeneğinde, 25 mm boşluk genişliğine sahip

deneylere göre alevlerin boşlukta daha hızlı yayılıp tüm boşluğu sardığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada, yangının düşey yönde yayılımında en kötü durumun 40 mm'lik hava boşluğuna sahip deney düzeneğini olduğu görülmüştür (Taylor & Choi, 1984).

Deneylerden elde edilen sonuçlarda oksijen miktarının yanma dinamiğinde önemli olduğu gözlemlenmiştir. Dar boşluklarda hava akışının kısıtlanması durumunda oksijen yenilenememiş ve dolayısıyla içerideki yalıtımın yanması için yeterli oksijen miktarına ulaşılmamıştır. Fakat hava boşluğu arttıkça bu durum tersine dönmüştür. Farklı genişlikte hava boşluğuna sahip numuneler ile yapılan bu deney, boşluktaki oksijen miktarının yangının yayılmasında önemli olduğunu ortaya koymuş ve araştırma sonucunda kritik hava boşluğu genişliğinin 25 mm olduğu belirtilmiştir (Taylor & Choi, 1984).

2.3.2.3 Alpert ve Arkadaşlarının Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

1984 yılında Alpert ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, yangının düşey yayılma hızının zamanla katlanarak arttığını ve ısının sabit olduğu her zaman aralığından sonra alev yüksekliğinin iki katına çıktığını fark etmiştir. Ayrıca, yangının iki katına çıkma süresini kısaltan karşıt duvarın varlığı nedeniyle yangının yukarı doğru yayılımının önemli ölçüde arttığı, açık yangınlara kıyasla sınırlı alanın ve hava sirkülasyonunun alevin yükselmesine neden olduğu belirlenmiştir (Alpert & Ward, 1984).

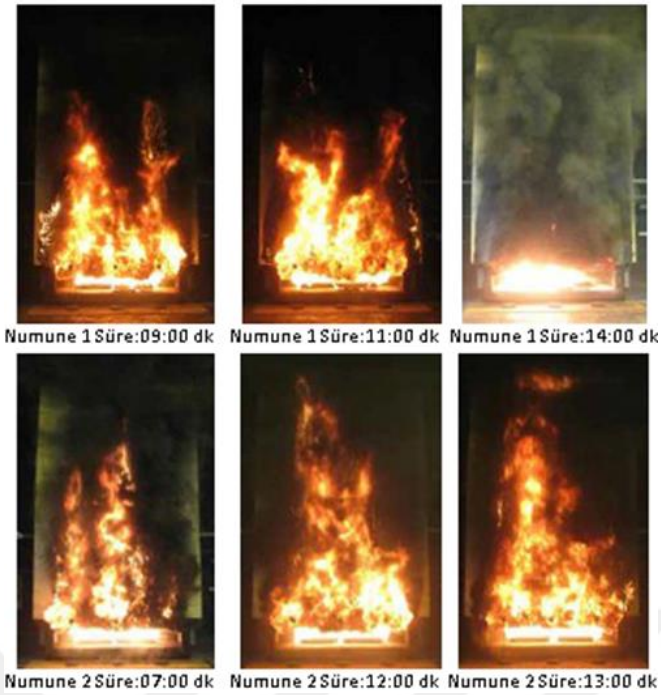
2.3.2.4 Mcnamee'in Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Robert McNamee 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada hava boşluğu olan ve olmayan cephelerde yanıcı cephe kaplamalarının alev yayılımına etkisindeki farkı ölçmüştür. Araştırma kapsamında oluşturduğu iki adet deney düzeneği ile alevin yüzeyde ve boşlukta nasıl yayıldığını araştırmıştır. Deneyde yangın yayılımı sıcaklık ölçümleri üzerinden değerlendirilmiştir. Yanma odasının üzerinden 750 mm, yanma odasının bir kat üzerinden 2100 mm'den ve yanma odasının iki kat üzerinden 4800 mm'den yapılan sıcaklık ölçümleri Tablo 2.5'de verilmiştir (McNamee vd., 2016).

Tablo 2.5 McNamee deney düzeneklerinin özellikleri ve yanma odasının 750 mm, 2100 mm ve 4800 mm üzerinden ölçülen maksimum sıcaklık değerleri (McNamee vd., 2016)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Hava Boşluğu Genişliği	Yalıtım	Yangın Bariyeri	Ölçülen Maksimum Sıcaklık Değerleri		
					Yanma Odasının 750 mm üzeri/ Ulaşılan Zaman	Yanma Odasının 2100mm Üzeri/ Ulaşılan Zaman	Yanma Odasının 4800 mm Üzeri/ Ulaşılan Zaman
1	Kontrplak	YOK	YOK	YOK	Fark yok/8dk	650°C/ 8 dk	200-250°C/ 8 dk
2	Kontrplak	20 mm	Mineral Yün	YOK	Fark yok/8dk	750°C/ 13 dk	600°C/ 15 dk

Yanma odasının 750 mm üzerinden yapılan sıcaklık ölçümlerinde iki cephe arasında fark görülmemiştir. Yanma odasının bir kat üstünde 2100 mm'den yapılan ölçümlerde boşluksuz cephe için sıcaklık maksimum 650°C'ye 8 dakika sonra çıkmış ve sonrasında azalmıştır. Fakat boşluklu cephede sıcaklık artmaya devam etmiş ve 13 dakika sonra maksimum sıcaklık 750°C'ye ulaşmıştır. Deney düzeneklerinin ısı yayma hızı incelendiğinde ise, deney başlangıcından 10 dakika sonra, değerler tekrar artmaya ve boşluksuz cephe ile havalandırma boşluğu olan cephe arasındaki fark açılmaya başlamıştır. Boşluklu cephenin ısı yayma hızı en fazla değerine deney başladıktan 15 dakika sonra ulaşmıştır. Yanıcı cephe kaplaması sıcaklığı arttırmış ancak yanıcı kaplamanın arkasında bulunan havalandırma boşluğunun cephedeki ısıyı daha fazla arttırdığı fark edilmiştir. Deney sırasındaki gözlemsel ölçümlerde alevin, ilk kattaki pencerenin alt kenarına boşluksuz olan cephede 9 dakikada ulaştığı, boşluklu cephede ise 7 dakikada ulaştığı görülmüştür (McNamee vd., 2016) (Şekil 2.55).

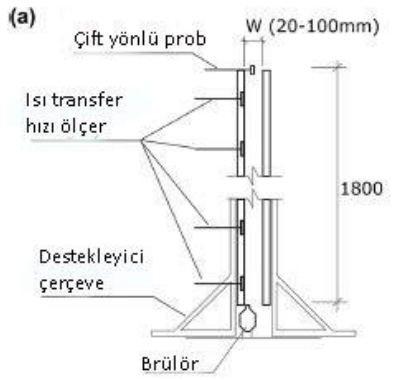


Şekil 2.55 Deney sırasında çekilen fotoğraflar (Numune 1: hava boşluksuz cephe, Numune 2: hava boşluklu cephe) (McNamee vd., 2016)

Bu çalışma ile cephede hava boşluğu varsa yanıcı kaplamanın her iki tarafının da yanabileceği ve baca etkisi olabileceği sonucu elde edilmiştir. Bu durum, boşluğun yangın davranışı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiş ve yapılan iki deneydeki bu farka yüzey kaplama malzemesi olan kontrplağın katkısının olmadığı belirtilmiştir (McNamee vd., 2016).

2.3.2.5 Livkiss ve Arkadaşlarının Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

2018'de Livkiss ve arkadaşları iki yanmaz hafif kalsiyum silikat levha ve bu levhaların arasında bulunan hava boşluğundan oluşan bir deney düzeneği oluşturmuş ve hava boşluğu genişlik ölçüsünün farklılaştırılması üzerinden bir çalışma yapmıştır (Şekil 2.56) (Tablo 2.6). Çalışma, boşluk genişliğinin başka bir etmen (yalıtım, yanıcı kaplama) olmadan alev yüksekliğine etkisini ölçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir (Livkiss vd., 2018).



Şekil 2.56 Deney düzeneği yan görünümü (Livkiss vd., 2018)

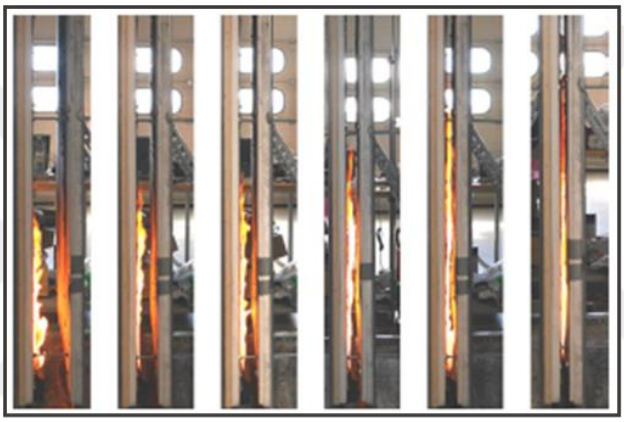
Tablo 2.6 Livkiss ve ark. deney düzeneği özellikleri (Livkiss vd., 2018)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Deney Düzeneklerine Verilen Alev Gücü	Hava Boşluğu Genişliği	Yalıtım	Yangın Bariyeri
1	Yanmaz Plaka	16,5	100mm, 60mm, 50mm, 40mm, 30mm, 20mm, tek duvar	YOK	YOK
2		24,8			
3		32,3			
4		40,4			

Çalışmada değişkenler deney düzeneğine uygulanan farklı şiddetteki alev gücü ve farklı boşluk genişliklerinden oluşmaktadır. Hava boşlukları; 100mm, 60mm, 50mm, 40mm, 30mm, 20mm ve tek duvar olarak farklı konfigürasyonlarda denenmiştir. Bu deney genişliklerinin her bir kombinasyonu için dört farklı brülör gücü kullanılmıştır. Brülör ısı yayma hızı ise brülör uzunluğunun m^2 başına 16,5 kW ile 40,4 kW arasında değişmiştir. Hava boşluğu genişliği 40 mm ve üstü olan, brülörün birim alan başına ısı yayma oranının (Q') düşük olduğu bir senaryoda alevler tüm hava boşluğu genişliğini dolduramamıştır. Tüm hava boşluğu genişliğinde ortalama Q' değeri en az olan deney düzeneği 1'de deney düzeneği 2, 3 ve 4'e göre daha düşük alev yüksekliği tespit edilmiştir. Hava boşluğu daraltıldığında veya ısı yayma hızı arttırıldığında, duman akışı düşey yönde yoğunlaşmış ve alevler tüm hava boşluğu genişliğini doldurmuştur. Alevlerin tüm boşluğu doldurduğu senaryolar; 30 mm hava boşluğu ve ortalama Q değeri 16.5, 24.8, 32.3 kW/m olan deney düzenekleri ve 40 mm hava boşluk genişliğine sahip ortalama Q değeri 40.4 kW/m olarak gözlemlenmiştir (Livkiss vd., 2018).

Bu çalışmalar, düşey hava boşluğu genişliğinin, yanma sırasındaki alev yayılım özelliğinde ve boşluk içindeki yüzeylerin maruz kaldığı ısıyı belirlemekte kritik rol

oynadığını göstermiştir. Duvara gelen ısı akısı değeri tüm duvar yüksekliği boyunca yapılan ölçümlerde hava boşluğu genişliği azaldıkça daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise hava boşluğu genişliği azaldıkça duman ve alevin yatay yayılımının azalarak düşey yayılıma daha çok yönelmesi olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda bu koşulda alevler tüm hava boşluğu genişliğini doldurmuştur. Hava boşluğu genişliği azaldığında, deney düzeneğinin tüm yüksekliği boyunca gelen ısı akılarının arttığı gözlemlenmiştir. Fakat, boşluklu bir cephenin kaplama yüzeyinin boşluksuz bir cepheye göre yangın esnasında daha şiddetli bir ısıya maruz kalacağı ön görülmüştür. Hava boşluklu cephe sisteminin, hava boşluksuz cephe sistemine göre yangın hızının 2.2 kat fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.57) (Livkiss vd., 2018).



Şekil 2.57 Havalandırmalı giydirme cephe sistemine sahip deney serisi II'nin aynı dakikada sırasıyla 100mm, 60mm, 50mm, 40mm, 30mm, 20mm hava boşluklarındaki yangın yayılım dinamiği (Livkiss vd., 2018)

Yangın davranışını etkileyen temel etmenlerin hem ısı yayma hızı (HRR) hem de hava boşluğunun genişliği olduğu belirlenmiştir. Bu deney gerçek bir yangında daha büyük bir boşluk genişliğinin, boşluğa daha fazla sıcak hava ve yanıcı gaz girmesi anlamına geleceği ve bu nedenle boşluk içindeki ısı miktarının artıracağı varsayımını ortaya çıkarmıştır.

2.3.2.6 Sharma ve Mishra'nın Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

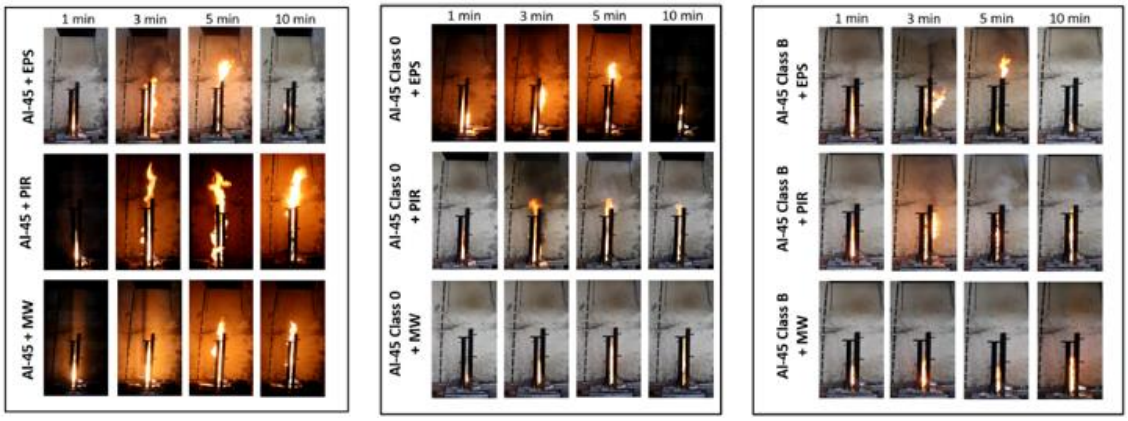
Sharma ve Mishra'da 2021 yılında, Livkiss gibi farklı hava boşluk genişliğine sahip çeşitli cephe kombinasyonları ile bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Livkiss'in çalışmasına ek olarak farklı yanıcılık seviyelerine sahip alüminyum cephe kaplamaları ve farklı yalıtım malzemelerinin hava boşluklu ve hava boşluksuz

kombinasyonları oluşturulmuş ve aradaki fark karşılaştırılmıştır (Tablo 2.7) (Sharma & Mishra, 2021).

Tablo 2.7 Sharma ve Mishra deney düzeneği özellikleri (Sharma & Mishra, 2021)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemeleri	Çekirdek Yalıtımı	Yalıtım	Hava Boşluğu Genişliği	Yangın Bariyeri
1	AL-43	PE	EPS	13,25,50,75,100 mm	YOK
2	AL-43	PE	PIR	13,25,50,75,100 mm	
3	AL-43	PE	MW	13,25,50,75,100 mm	
4	AL-45	PE	EPS	50 mm	
5	AL-45	PE	PIR		
6	AL-45	PE	MW		
7	AL-45 Class 0	FR	EPS		
8	AL-45 Class 0	FR	PIR		
9	AL-45 Class 0	FR	MW		
10	AL-45-Class B	FR	EPS		
11	AL-45-Class B	FR	PIR		
12	AL-45-Class B	FR	MW		
13	AL-45	PE	-	YOK	
14	EPS	-	-		
15	PIR	-	-		
16	MW	-	-		

Bu kombinasyonlarda hava boşluğu genişliği 13 mm ile 100 mm arasında değiştirilmiş ve hava boşluğunda yangın bariyeri kullanılmamıştır. Deneyde, çekirdek kalınlığı aynı tutularak, alüminyum kalınlığı farklı olan iki çeşit alüminyum kompozit kaplama (AL-43, AL-45) malzemesi kullanılmıştır. AL-45'in alüminyum kalınlığı 0.5 mm iken AL-43'ün alüminyum kalınlığı 0.25 mm dir. Kompozit kaplama malzemelerinde FR ve PE olmak üzere iki farklı çekirdek malzemesi kullanılmıştır. Bu deneyler iki aşamadan oluşmuştur. İlk aşamadaki deney düzeneğinde AL kalınlığının etkisini anlamak amacıyla AL-45 ve AL-43 dış cephe kaplamasının farklı montaj kombinasyonları ile deney yapılmış ve hava boşluğu 50 mm ile sabit tutulmuştur (Şekil 2.58) (Sharma & Mishra, 2021).



Şekil 2.58 a) Al-45 Class 0'ın EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı, b) Al-45 Class 0'ınn EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı, c) Al-45 Class B'nin EPS, PIR ve Mineral Yün (MW) ile farklı zaman aralıklarındaki alev yayılımı (Sharma & Mishra, 2021)

Bu aşamada aynı zamanda üç farklı yalıtım malzemesinin (EPS, PIR ve MW) kullanıldığı AL-45 kaplamaya sahip deney düzenekleri boşluklu ve boşluksuz olarak da test edilmiştir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8 Sharma ve Mishra hava boşluklu ve boşluksuz deney düzeneklerinde sıcaklık, ortalama alev yüksekliği, kütle yanma hızı ve ısı yayma oranı (Sharma & Mishra, 2021'den düzenlenmiştir)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Hava Boşluğu	Ortalama Sıcaklık Değerleri	Ortalama Alev Yüksekliği	Ortalama Kütle Yanma Hızları (kg/s)	Isı yayma oranı
4	Al-45-EPS	50 mm	555 °C	1,65 m	0,001 ile 0,002 arası	58 kW
5	Al-45-PIR	50 mm	840°C	2,3 m	0,002 ile 0,003 arasında	110 kW
6	Al-45-MW	50 mm	560°C	1,47 m	0,0005 ile 0,001 arasında	25 kW
13	Al-45 (sadece kaplama)	YOK	142°C	0,44 m	0,000 ile 0,001 arasında	6,3 kW
14	EPS (sadece yalıtım)	YOK	127°C	1,53 m	0,0005 ile 0,001 arasında	38 kW
15	PIR (sadece yalıtım)	YOK	65°C	0,24	0,000 ile 0,0005 arasında	4 kW
16	MW (sadece yalıtım)	YOK	0°C	0	0	0 kW

Hava boşluğuna sahip cephede boşluksuz cepheye göre kütle yanma hızı (kg/s), ısı yayma oranı (kW), ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama alev yükseklik değerlerinin 3-6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda en yüksek sıcaklık artışı ise

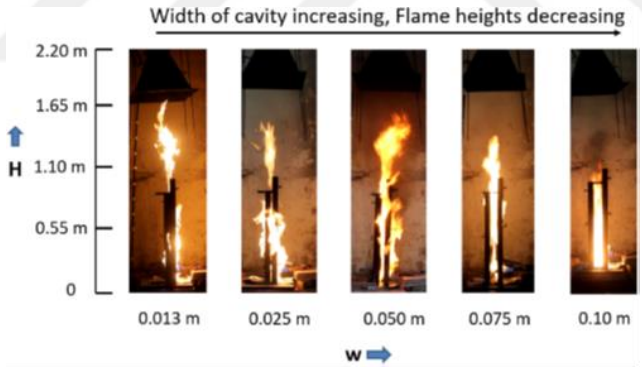
yangın dayanımı olmayan malzemelerde gözlemlenmiştir. Al-45+EPS kombinasyonunun Al-45 +PIR'a göre, kütle yanma hızı, sıcaklık ve alev yükseklikleri 1,5–2 kat daha az ölçülmüştür. Bunun nedeninin, EPS'nin 3–5 dakika içinde hızla yanarak Al-45 kaplamasının yanmasına olanak tanımaması olduğu belirtilmiştir. Ancak PIR, yavaş yavaş yanmaya devam etmiş ve daha geniş bir sıcaklık aralığında tam termal ayrışmaya uğramıştır. Bu da Al-45'in tamamen yanması için yeterli zamanı vermiştir. Bu aşamada hava boşluğunun sadece alevlerin yayılma hızını değil kaplama malzemesinin yanma hızını da etkilediği görülmüştür. AL- 45+ EPS ortalama alev hızı 4,44 mm/s, AL-45+PIR ortalama alev hızı 5,12 mm/s, AL-45+ MW ortalama alev hızı 2,29 mm/s ölçülmüştür (Tablo 2.9) (Sharma & Mishra, 2021).

Tablo 2.9 Sharma ve Mishra hava boşluklu deney düzeneklerinde ortalama alev hızı, alev yüksekliği ve alevin boşluktan görülme süresi (Sharma & Mishra, 2021'den düzenlenmiştir)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemeleri	Çekirdek Yalıtımı	Yalıtım Malzemesi	Hava Boşluğu	Ortalama Alev Hızı	Alev Yükseklikleri	Ortalama Sıcaklık (1dk boyunca)	Alevin Boşluktan Görülme Süreleri
4	AL-45	PE	EPS	50 mm	4,44 mm/s	1,65m	555°C	2 dakikadan az
5	AL-45	PE	PIR	50 mm	5,12 mm/s	2,3m	840°C	2 dakikadan az
6	AL-45	PE	MW	50 mm	2,29 mm/s	1,47m	560°C	5. dakika
7	AL-45Class0	FR	EPS	50 mm	3,75 mm/s	1,49m	490°C	4. dakika
8	AL-45Class0	FR	PIR	50 mm	3,75 mm/s	1,41m	596°C	3. dakika
9	AL-45Class0	FR	MW	50 mm	2,22 mm/s	1,05m	457°C	Alev görülmedi
10	AL-Class B	FR	EPS	50 mm	3,75 mm/s	1,59m	473°C	3-4 dakika içinde
11	AL-Class B	FR	PIR	50 mm	2,50 mm/s	1,31m	611°C	Alev görülmedi
12	AL- Class B	FR	MW	50 mm	~ 0 mm/s	0,59m	417°C	Alev görülmedi

Deneyde kullanılan sürekli yalıtımlar için termal analizlere bakıldığında PIR için ayrılma sıcaklığı 280°C ile 590°C arasında, EPS için 258°C ile 390°C arasında olduğu tespit edilmiştir. MW ise yanmadan cephe üzerinde kalmıştır. PIR ve EPS yalıtıma sahip AL-45 Class 0 kaplamasıyla oluşturulan deney düzeneklerinin bir dakika boyunca hava boşluğunda bulunan ortalama sıcaklıkları ölçüldüğünde PIR yalıtıma sahip olan deney düzeneğinin sıcaklık değeri fazla çıkmıştır. Fakat bu iki deney düzeneğinin ortalama alev yayma hızları eşit çıkmıştır. AL-45 Class 0 kaplama malzemesi ve MW yalıtımı ile yapılan deney düzeneğinde ortalama alev hızı 2,22mm/s bulunmuştur. Bu değerin MW ile aynı kaplamaya sahip olan PIR ve EPS

yalıtımlı deney numunelerinin ortalama alev hızlarına göre neredeyse yarı yarıya farklı olduğu görülmüştür. Al-45 Class B, yangının yayılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmasa da EPS ve PIR ile montaj kombinasyonunda, yanıcı yalıtımın varlığı nedeniyle, daha yüksek alev yayılımı gerçekleşmiştir. Böylece, yalnızca tek tek ürünler yerine tüm sistemin test edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Tüm deney kombinasyonlarında EPS ve PIR yalıtımlarının %100'ü yanmış, 800 ◦ C'de tüm dış cephe kaplama malzemeleri için Al-45, Al-45 Class 0 ve Al-45 Class B panellerinden sırasıyla %10, %38 ve %46'lık kalıntılar kalmıştır. Maksimum termal bozunma ise 430°C ile 480°C arasında gözlemlenmiştir. Yalıtım malzemelerinin dış cephe kaplamasına kıyasla düşük termal bozunma sıcaklıkları, cephe sisteminin yanıcılığında önemli bir rol oynamıştır. Görsel olarak yapılan incelemelerde tüm deney kombinasyonları için deney düzeneğinin alev yayılma hızı 200- 300 mm'ye kadar aynı olmuştur. Hava boşluğu yüksekliğinin yarısından (400-500mm) sonra ise önemli farklar gözlemlenmiştir. İkinci aşamadaki deneyler, Al-43 kaplama ile yapılmış olup, boşluk genişliği 13 mm ile 100 mm arasında değiştirilmiştir (Şekil 2.59) (Sharma & Mishra, 2021).



Şekil 2.59 Al-43'ün farklı boşluk genişliğine sahip numunelerinde alev yüksekliklerinin karşılaştırılması (Sharma & Mishra, 2021)

Baca etkisi olan deneylerde, boşluk içerisinde ısı radyasyonuyla birleşen basınç farkı, aynı ürün kombinasyonu için baca etkisi olmayan deneylere göre 3-6 kat daha yüksek yanma hızı, alev yüksekliği ve sıcaklık ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma, havalandırmalı giydirme cephe sisteminde düşey yangın yayılımının artmasında baca etkisinin önemini göstermiştir. Ayrıca deneyde baca etkisiyle birlikte, ürünlerin damlama özelliklerinin yanma ve yayılma hızını daha da arttırarak ikincil yangınlara neden olduğu gözlemlenmiştir (Sharma & Mishra, 2021). 13 mm boşluğa sahip AL-43 serisinde deney sırasında alev yükseklikleri artmış ve yoğun damlama

ile yoğun yanma gözlemlenmiştir. 25 mm ve 50 mm hava boşluğuna sahip deney düzeneklerinde ise yapısal bozulmanın bir sonucu olarak levhalar düşmüştür. 75 mm ve 100 mm hava boşluğuna sahip numunelerde ise yapısal bozulma meydana gelmemiş ve alev yüksekliği diğer deneylere göre 1,2-1,8 kat arasında daha az ölçülmüştür. Bunun sebebi önemli miktarda havanın boşluğa girerek sıcaklığı düşürmesi ve böylece yanmayı azaltmasıdır (Sharma & Mishra, 2021).

Yapılan deneyler sonucunda cephe sisteminde hava boşluğu genişliğinin kritik noktasının yangın kapsamında 13-50 mm olduğu belirlenmiştir. Hava boşluğu genişliği arttıkça alev yüksekliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumla orantılı olarak ısı yayma oranı ve kütle yanma hızı da düşmüştür (Sharma & Mishra, 2021).

2.3.2.7 Guillaume ve Arkadaşlarının Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Guillaume ve arkadaşları, 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada malzeme ve hava boşluğu ilişkisini ele almışlardır (Guillaume vd., 2018). Deneyde yangın bariyeri kullanılmış, hava boşluğu kaplama panelinden yalıtıma kadar 50 mm, yangın bariyerinden sonra ise 24 mm olarak oluşturulmuş ve boşluk genişlikleri her deney düzeneği için sabit tutulmuştur. Deneyde, kaplama panelinde (ACM) kullanılan çekirdek malzemesi ve yalıtım malzemesi değişkenlik göstermiştir. ACM panelleri, ACM-FR, ACM-PE, ACM-A2 olmak üzere üç farklı şekilde kullanılmıştır. Cephenin yalıtımında ise mineral yün (MW), poliizosiyanurat (PIR) ve fenolik köpük (K15) kullanılmıştır. Çalışmada dokuz farklı kombinasyon denenmiştir (Tablo 2.10) (Guillaume vd., 2018).

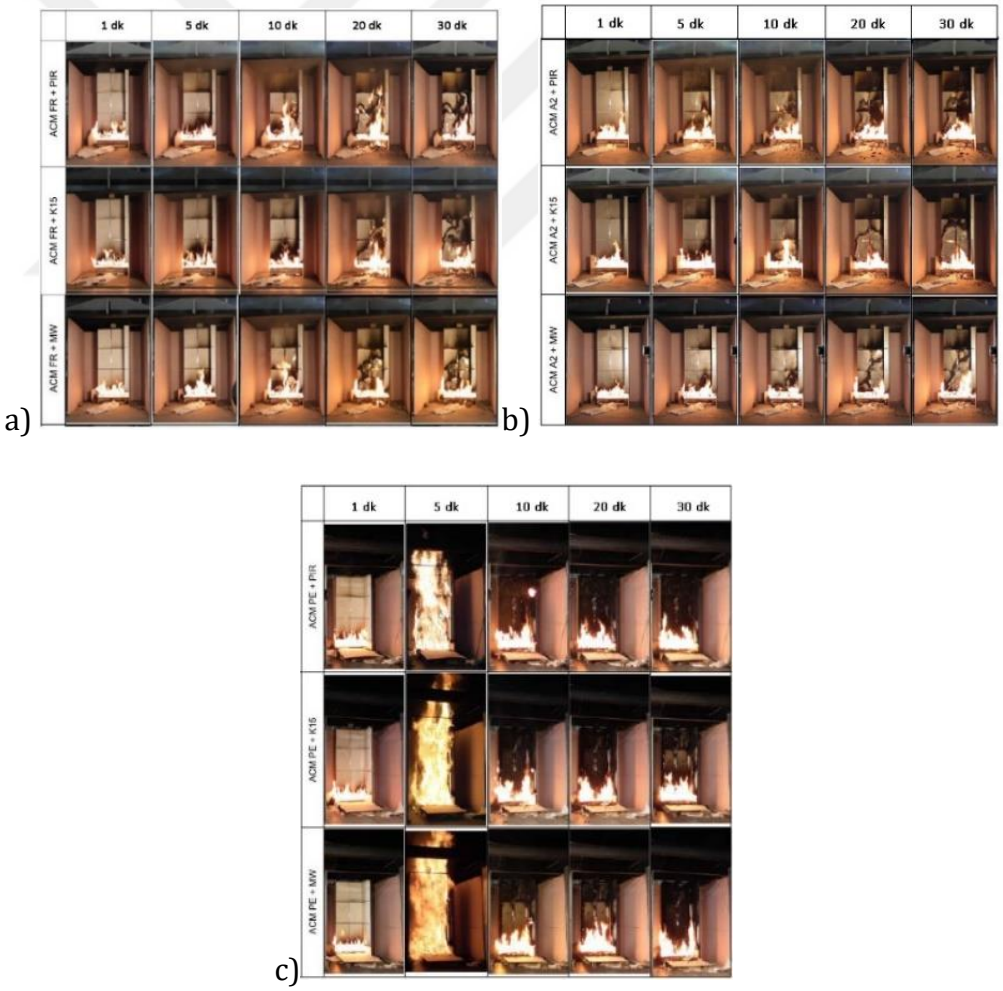
Tablo 2.10 Guillaume ve ark. deney düzenek özellikleri (Guillaume vd., 2018)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Hava Boşluğu Genişliği	Yalıtım	Yangın Bariyeri	Yangın Bariyerinden Sonraki Hava Boşluğu
1	ACM-FR	50 mm	PIR	VAR	24 mm
2			K15		
3			MW		
4	ACM-A2		PIR		
5			K15		
6			MW		
7	ACM-PE		PIR		
8			K15		
9			MW		

Dokuz farklı deney düzeneği içinde PE çekirdekli alüminyum kaplama (ACM-PE) ile yapılan numunelerde diğer kaplama malzemelerine göre daha yüksek ısı yayma oranı tespit edilmiştir. Tüm deney düzenekleri içerisinde en yüksek ısı yayma oranı ve duman üretimi ACM-PE+K15 cephe kombinasyonunda ölçülmüştür. Bu durum, ACM-PE ile yapılan deneylerin her biri için benzer olmuş ve ısı yayma oranı diğer tüm deneylerden 16 kat daha yüksek çıkmıştır. Yanıcı yalıtım olmayan MW ile yapılan ACM-FR ve ACM-A2 deney düzenekleri beklendiği gibi en iyi sonuçları vermiştir. ACM-FR+MW deney düzeneğinde 298 kW maksimum ısı yayılımı gözlenmişken ACM-FR+ MW'de ise bu değer 194 kW olarak ölçülmüştür. Bu iki kaplama malzemesine sahip deney düzeneklerinde ölçülen maksimum ısı salınım değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. ACM-A2 + K15 ve ACM-FR + MW deney düzenekleri de yakın sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, ısı salınımı için en büyük katkı, ACM-PE kullanıldığında gerçekleşmiştir. ACM-PE numunelerinin görsel verileri incelendiğinde numunenin 10 dakika içinde neredeyse tamamen yandığı görülmüştür (Şekil 2.60-c). Bu deney düzeneği kombinasyonları hava boşluğunun bütünlüğünü garanti edememiştir. Alüminyum tamamıyla erimiş ve oksijenin deney düzeneğine direkt girmesine neden olmuştur. Kaplamanın tamamıyla erimesinden dolayı yangın bariyeri büyük ölçüde etkisiz kalmıştır. ACM-A2+ K15 deney düzeneğinde, dört dakikada alevler 500 mm'ye ulaşmış ve kaplamadan gözükmeye başlamıştır. ACM-FR +MW ve ACM-A2+ MW deney düzeneklerinde ise 7 dakika sonra alevler 500 mm'den gözükmeye başlamıştır. ACM-FR+ PIR, ACM-A2+PIR deney numunelerinde ise alevler 500 mm'de sırasıyla 7 ve 5 dakika sonra görülmüştür. ACM-PE'ye sahip cephe yapılarında alev 5 dakika gibi kısa bir sürede kaplama üzerinde en üst noktaya ulaşmış ve panel yangın esnasında yanarak erimiştir (Tablo 2.11). Bu sebeple hava boşluğunda kullanılan yangın bariyerleri görevini yerine getirememiş ve büyük ölçüde etkisiz hale gelmiştir. Çalışma sonucunda cephe kaplama malzemesinin yangın yayılımı açısından önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir (Guillaume vd., 2018).

Tablo 2.11 Guillaume ve ark. deney düzeneklerinde alev yayılım tablosu (Guillaume vd., 2018'den düzenlenmiştir)

Deney Düzenekleri	Kaplama Malzemesi	Hava Boşluğu Genişliği	Yalıtım	Alevin Kaplamada Gözükmesi		Arka Kanatta Ulaşılan Max Yükseklik
				Yükseklik	Süre	
1	ACM-FR	50 mm	PIR	500 mm	7 dk	-
			K15	500 mm	13 dk	-
2				1000 mm	18 dk	
3			MW	500 mm	7 dk	1500 mm
4	ACM-A2		PIR	500 mm	5 dk	-
				1000 mm	8 dk	
5			K15	500 mm	4 dk	-
				1000 mm	15 dk	
6			MW	500 mm	7 dk	-
				1500 mm	11 dk	
7	ACM-PE		PIR	5 dakikada tüm yüzey tutuştu.		
8			K15			
9			MW			



Şekil 2.60 a) ACM-FR kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı, b) ACM-A2 kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı, c) ACM-PE kaplamalı deney düzeneği alev yayılımı (Guillaume vd., 2018).

Yangın yayılım hızı, Guillaume ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmada sayısal bir değer olarak belirtilmemiştir. Bu bağlamda yangın yayılım süreleri ve alevlerin düşey yöndeki yayılım alanından yola çıkarak bölüm 2.3.1'de yangın yayılım hızı için kullanılan formül ile hesaplanmıştır. Hesaplanan yangın yayılım hızı (*) işaretiyle belirtilmiştir (Tablo 2.12). Yangın yayılım süresi belirtilmeyen deney düzeneklerinde hesaplama yapılamamıştır.

Tablo 2.12 Guillaume ve ark. deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Guillaume vd., 2018'den uyarlanmıştır)

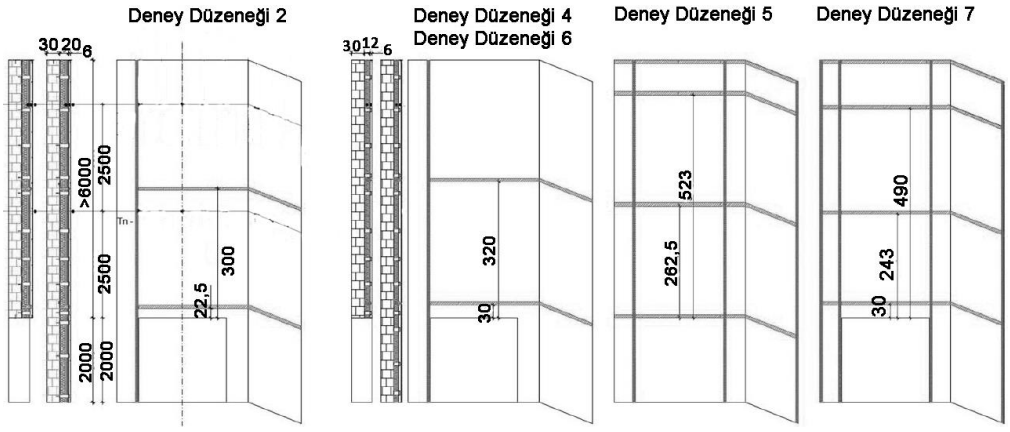
No	Cephe Kaplaması	Cephe Yalıtımı	Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Isı Yayma Oranı (HRR)	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
1	ACM-FR	PIR (50mm)	50 mm	Var	0,5 m	7 dk	0,07 m/dk*	397 kW	-
2	ACM-FR	K15 (50mm)	50 mm	Var	0,5 m	13 dk	0,04 m/dk*	280 kW	-
					1 m	18 dk	0,06 m/dk*		
3	ACM-FR	MW (100mm	50 mm	Var	0,5 m	7 dk	0,07 m/dk*	298 kW	-
4	ACM-A2	PIR (50mm)	50 mm	Var	0,5 m	5 dk	0,1 m/dk*	306 kW	-
					1 m	8 dk	0,13 m/dk*		
5	ACM-A2	K15 (50mm)	50 mm	Var	0,5 m	4 dk	0,13 m/dk*	244 kW	-
					1 m	15 dk	0,07 m/dk*		-
6	ACM-A2	MW (100mm)	50 mm	Var	0,5 m	7 dk	0,07 m/dk*	194 kW	-
					1,5 m	11 dk	0,14 m/dk*		-
7	ACM-PE	PIR (50mm)	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	5100 kW	4 dk
8	ACM-PE	K15 (50mm)	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	5159 kW	4 dk
9	ACM-PE	MW (100mm	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	4883 kW	4 dk

Cephelerdeki hava boşluğunun yangına etkisini vurgulayan bu çalışmalar sonucunda yangın ve hava boşluğu ilişkisini analiz etmek ve yangının cephede sınırlanması konusu önemli hale gelmiştir.

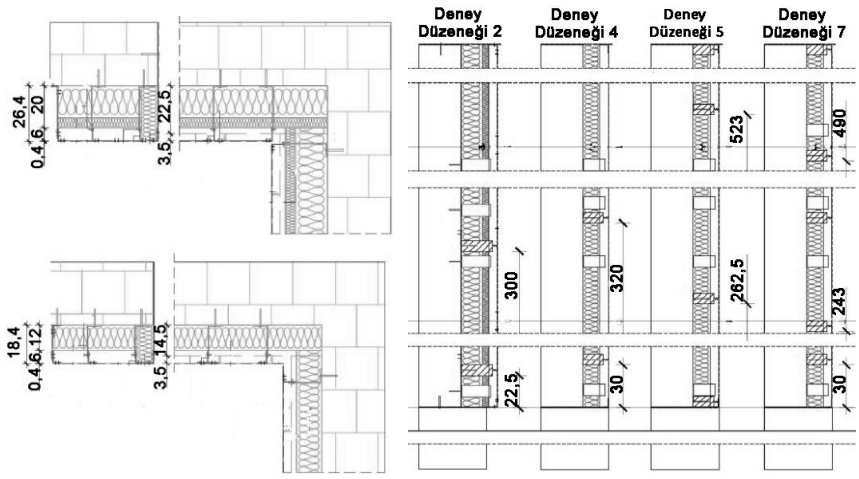
2.3.2.8 Colic ve Pecur'un Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Colic ve Pecur 2020 yılında, havalandırmalı giydirme cephelerde bulunan hava boşluklarında yatay ve düşey yangın bariyeri kullanılmasındaki önemi göstermeyi amaçlayan bir deney serisi gerçekleştirmiştir (Colic & Pecur, 2020). Bu deneyde, cephe kaplama malzemesi olarak tüm numunelerde yanmaz alüminyum kompozit panel (ACM-A2) kullanılmıştır. Yangın bariyerlerinin adetleri ve farklı yalıtım malzemeleri deneyin değişkenlerini oluşturmuştur (Tablo 2.13). Deneylerler açık havada ve 60 dakika sürmüştür. Deney düzeneklerindeki yangın bariyerleri, yatay ve düşey olacak şekilde çift yönde kullanılmıştır.Yangın bariyeri olarak; şişen bant ve yüksek yoğunluklu mineral yün seçilmiştir. Deney düzeneklerinde yatay bariyer ve kaplama arasındaki mesafe (hava boşluğu) 35 mm bırakılmıştır. Düşey bariyerler cephe boşluğunu tamamen kapatmak için tasarlanmış ve kalınlığı 75mm kullanılmıştır.

Yangın bariyeri olmayan cephede yangının diğer cephelere göre çok daha hızlı ve daha fazla yayıldığı görülmüş, yangın bariyeri olan cephe ile olmayan cephenin aynı sıcaklık değerine ulaşmaları arasındaki fark zamansal olarak iki kat olarak gözlemlenmiştir (Tablo 2.13). Yangın bariyerlerinin sayısının arttırılmasıyla da maksimum sıcaklık değerinin düştüğü belirtilmiştir (Şekil 2.61). Bu durumdan yanıcılık sınıfı yüksek olan yalıtım malzemelerinin cephe sisteminde yangın hızını arttırdığı sonucu çıkartılmıştır (Colic & Pecur, 2020).



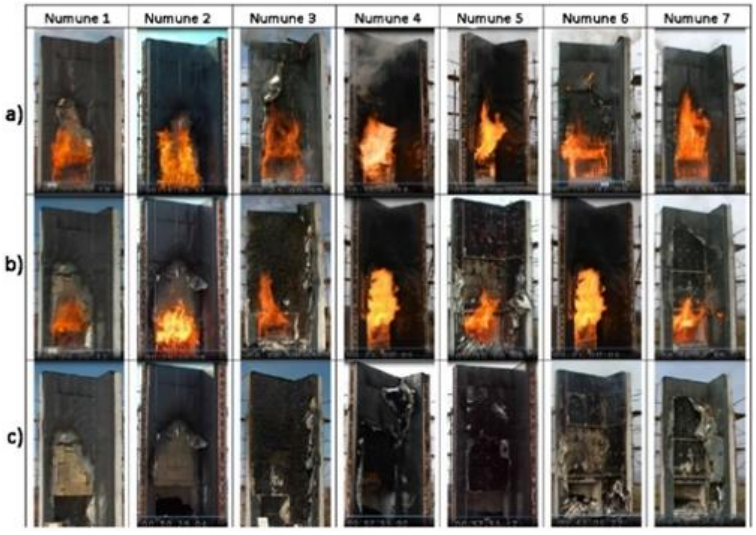
Şekil 2.61 Deney düzeneği 2, 4, 5, 6, 7'nin yatay bariyer konumları (cm) (Colic & Pecur, 2020).



Şekil 2.62 Deney düzeneği 2, 4, 6'nın plan çizimi ve deney düzeneği 2, 4, 5, 7'nin kesit çizimi (cm)(Colic & Pecur, 2020).

Tablo 2.13 Colic ve Pecur deney düzenekleri malzeme ve montaj tablosu (Colic & Pecur, 2020'den düzenlenmiştir)

Deney Düzenegi	Kaplama	Yalıtım	Hava Boşluğu Genişliği	Yatay Boşluk Bariyerleri	Dikey Boşluk Bariyerleri	Maksimum Sıcaklık Değerleri/ Sıcaklık Değerlerine Ulaşılan Zaman							
						Kaplama önünden ölçülen max sıcaklık (2500 mm)	Ulaşılan Zaman (dk:sn)	Kaplama önünden ölçülen max sıcaklık (5000 mm)	Ulaşılan Zaman (dk:sn)	Hava boşluğundan ölçülen max sıcaklık (5000 mm)	Ulaşılan Zaman (dk:sn)	Yalıtımdan ölçülen max sıcaklık (5000 mm)	Ulaşılan Zaman (dk:sn)
1	ACM-A2	Taş yünü	60 mm	YOK	YOK	827°C	12:30	325°C	13:20	526°C	15:11	270°C	30:41
2		Taş yünü		2	1	861°C	24:23	364°C	19:43	308°C	26:53	133°C	10:40
3		PIR		YOK	YOK	1010°C	20:21	844°C	17:01	953°C	29:21	1016°C	31:31
4		PIR		2	1	895°C	24:01	914°C	33:21	908°C	33:41	946°C	31:01
5		PIR		4	3	879°C	20:10	429°C	22:03	659°C	44:02	304°C	48:42
6		Fenolik Köpük		2	1	930°C	19:51	917°C	18:20	883°C	18:20	979°C	21:31
7		Fenolik Köpük		4	4	935°C	19:41	577°C	22:21	473°C	25:51	261°C	12:50



Şekil 2.63 a)15. dakika b) 30. dakika ve c) deneyden sonra numuneler (Colic & Pecur, 2020).

Deney düzeneği 4 için yatay bariyer sayısı yetersiz kalmış, 27. dakikada alevler düzeneğin üzerinden gözükmeye başlamıştır. Yanıcı yalıtım kullanılması

durumunda, yangının yayılmasını önlemede iki yatay bariyer yetersiz kalmış, yalnızca dört yatay bariyer kullanıldığında numune deneyi geçmiştir. Ancak dört bariyerli numuneler için birinci ile ikinci ve ikinci ile üçüncü arasındaki mesafe yaklaşık 250 cm ve üçüncü ile dördüncü arasındaki mesafe yaklaşık 100 cm şeklinde konumlandırılmıştır. Teknik ve pratik nedenlerle, bu sayıdaki ve bu konumdaki yangın bariyeri sorunlu olarak kabul edilmiştir. Yatay bariyerlerin konumlarının farklı olduğu deney düzenekleri kıyaslandığında yanma odasına daha uzak yatay yangın bariyerine sahip olan deney düzeneğinin daha geç yanmaya başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca düşey yangın bariyeri bulunan tüm deney sonuçlarına bakıldığında, bariyerin yangının yayılımının önlenmesinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür (Colic & Pecur, 2020).

Yangın yayılım hızı Colic ve Pecur'un gerçekleştirmiş olduğu çalışmada sayısal bir değer olarak belirtilmemiştir. Bu bağlamda yangın yayılım süreleri ve alevlerin düşey yöndeki yayılım alanından yola çıkarak bölüm 2.3.1'de yangın yayılım hızı için kullanılan formül ile hesaplanmıştır. Hesaplanan yangın yayılım hızı (*) işaretiyle belirtilmiştir (Tablo 2.14). Yangın yayılım süresi belirtilmeyen deney düzeneklerinde hesaplama yapılamamıştır.

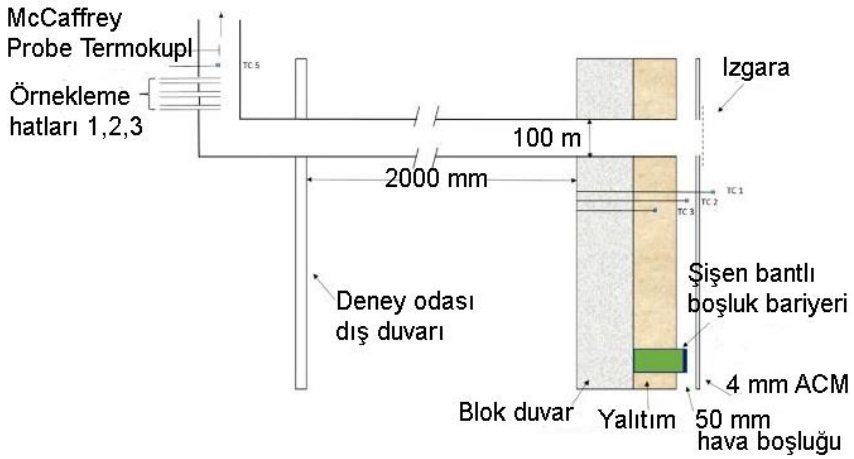
Tablo 2.14 Colic ve Pecur deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Colic & Pecur, 2020)

No	Cephe Kaplaması	Cephe Yalıtımı	Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayı-lım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcaklık (Hava Boşluğu-nda)	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
1	ACM-A2	MW (200 mm)	60 mm	Yok	8 m	30 dk	0,27 m/dk*	526°C	15 dk
2	ACM-A2	MW (200 mm)	60 mm	Var	-	-	-	308°C	27 dk
3	ACM-A2	PIR (120 mm)	60 mm	Yok	8 m	15 dk	0,5 m/dk*	953°C	29 dk
4	ACM-A2	PIR (120mm	60 mm	Var	8 m	27 dk	0,3 m/dk*	908°C	34 dk
5	ACM-A2	PIR (120mm	60 mm	Var	-	-	-	659°C	44 dk
6	ACM-A2	Fenolik Köpük (120 mm)	60 mm	Var	8 m	15 dk	0,5 m/dk*	883°C	18 dk
7	ACM-A2	Fenolik Köpük (120 mm)	60 mm	Var	-	-	-	473°C	26 dk

Bu çalışmada yatay ve düşey bariyerin konumu ve adetinin önemli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yangın bariyeri olmayan cephede ise yangının daha hızlı ve daha fazla yayıldığı görülmüştür. Yangın bariyerlerinin sayısının arttırılması koşulunda maksimum sıcaklık değeri düşmüştür. Ancak yangın bariyerlerinin konumunun ve adetinin teknik ve pratiklik açısındanda uygunluğunun kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

2.3.2.9 Jones ve Arkadaşlarının Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

2021 yılında Jones ve arkadaşlarının yapmış olduğu deneyde ise dört adet deney düzeneği ile cephe yangın deneyi yapılmıştır. Numunelerin üç tanesinin kaplama malzemesi mineral dolgulu alüminyum kompozit malzeme (ACM-A2) olup yalıtım malzemeleri; poliizosiyanürat köpük (PIR), fenolik köpük (PF) ve taş yünüdür (MW). Dördüncü numune polietilen dolgulu ACM (ACM-PE) kaplama malzemesine sahip PIR yalıtımlı bir sistemdir. Havalandırmalı giydirme cephe deney numunesi olan bu cephelerde ki yalıtımlardan köpük yalıtıma sahip olanlar 100 mm, taş yünü olan ise 180 mm olacak şekilde konumlandırılmış ve 50mm'lik bir hava boşluk bırakılarak alüminyum raylarla 4 mm kalınlığa sahip kaplama panellerinin montajı yapılmıştır (Şekil 2.64). Yangın bariyerlerinin konumları tüm deney düzeneklerinde sabit tutulmuştur (Tablo 2.15).



Şekil 2.64 Deney numunesi duvar kesiti (Jones vd., 2021)

Tablo 2.15 Jones ve arkadaşlarının deney düzenekleri yalıtım ve kaplama panellerinin kombinasyonları (Jones vd., 2021)

Deney Düzeneği	Kaplama Malzemesi	Çekirdek Yalıtımı	Hava Boşluğu Genişliği	Yalıtım	Yangın Bariyeri	Yangın Bariyerinden Sonraki Hava Boşluğu Genişliği
1	ACM-A2	Mineral çekirdek	50 mm	Taş yünü	VAR	25 mm
2		Mineral çekirdek		Fenolik Köpük		
3		Mineral çekirdek		Poliizosiya-nürat Köpük		
4	ACM-PE	Polietilen çekirdek		Poliizosiyan ürat Köpük		

ACM-PE+PIR cephesinde şiddetli yanma meydana gelmiş ve güvenlik nedeniyle 13,5 dakika sonra numune söndürülmüştür. Bu deneyde sıcaklığın 1000°C'nin üstüne çıktığı tespit edilmiştir. ACM-PE+PIR deney düzeneğinin kaplaması yangının ilk 8 dakikasında tamamıyla tahrip olmuştur. ACM-A2 kaplaması ve yalıtkanlığı fazla olan PIR, fenolik köpük (PF) yalıtım levhaları ile oluşturulan deney düzenekleri, üç aşamalı yanma davranışı göstermiştir. Bu köpük yalıtımlar için 5 dakikadan daha kısa sürede sıcaklık 50°C'ye ulaşmıştır. Bu yükselişin ardından, PF/A2 cephe kombinasyonu için 6 dakikada, PIR/A2 için ise 7,5 dakikada sıcaklık hızla ~ 250 °C 'ye yükselmiştir. ACM-A2+PF'nin sıcaklığı 18. dakikada düşüş göstermiştir. Bunun sebebinin ise yalıtım levhasının fiziksel hareketi olduğu düşünülmüştür. Tüm ACM-A2 kaplama paneli ile yapılan deney kombinasyonlarında deney esnasında ACM-A2 panelleri yapısal bütünlüğünü kaybetmiş ve deney duvarından ayrılmıştır. Bu durum PIR ve PF'nin yaklaşık %40'ının yanmasına sebebiyet vermiş, aynı zamanda yangının yayılmasına katkıda bulunmuştur (Şekil 2.91-b-c). ACM-A2+PF kullanılan deney düzeneğinde, 17 dakika sonra sıcaklıkta keskin bir artış görülmüştür. Bu sıcaklıktaki keskin artış yangının boşluğa girmesine neden olmuştur. ACM-A2+PIR için, 22. dakikada kaplama panelinin deney duvarından düşmeye başlamasıyla sıcaklıkta keskin bir artış tespit edilmiştir (Şekil 2.65-c). ACM-A2+MW için keskin bir sıcaklık artışı gözlemlenmemiştir. ACM-A2+MW'de sıcaklık, 30 dakikada 500 °C 'ye yükselmiş, beklenildiği gibi kademeli bir sıcaklık artışı olmuş ve yalıtım yerinde kalmıştır (Şekil 2.65-a). ACM-A2+MW ve ACM-A2+PIR deneylerinin yangın büyüme oranı ve sıcaklık artışının, ACM-A2+PF ve ACM-PE+PIR'a göre daha yavaş olduğu ve benzer yangın büyüme oranları gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak ACM-PE+PIR

deney düzeneğinde yangın büyümesi 5. dakikadan önce belirginleşmiştir. Yalıtım levhalarının hareketi ise, ACM-A2+PF için 17. dakikada, ACM-A2+PIR için ise 23. dakikada başlamıştır. Bu durum sadece kaplamanın değil, tüm cephe ürünlerinin yanıcı olmaması gerektiğini göstermiştir (Jones vd., 2021).



Şekil 2.65 Deneylerden sonra cephe durumları a) ACM-A2+MW, b) ACM-A2+PF, c)ACM-A2+PIR (Jones vd., 2021).

Çalışma sonucunda Guillaume'nin çalışma sonucu ile aynı sonuca varılmıştır. Cephe kaplamasının bütünlüğünün korunmasının önemli olduğu ve tüm sistemin yangın davranışının bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Jones vd., 2021).

Yangın yayılım hızı Jones ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmada sayısal bir değer olarak belirtilmemiştir. Bu bağlamda yangın yayılım süreleri ve alevlerin düşey yöndeki yayılım alanından yola çıkarak bölüm 2.3.1'de yangın yayılım hızı için kullanılan formül ile hesaplanmıştır. Hesaplanan yangın yayılım hızı (*) işaretiyle belirtilmiştir (Tablo 2.16).

Tablo 2.16 Jones ve arkadaşlarının deney düzenekleri yangın yayılım hızı tablosu (Jones vd., 2021)

No	Cephe Kaplaması	Cephe Yalıtımı	Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcak-lık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
1	ACM-A2	MW(180 mm)	50 mm	Var	5 m	30 dk	0,17 m/dk*	500° C	30 dk
2	ACM-A2	Fenolik Köpük (100 mm)	50 mm	Var	5 m	17 dk	0,3 m/dk*	-	-
3	ACM-A2	PIR (100 mm)	50 mm	Var	5 m	23 dk	0,22 m/dk*	-	-
4	ACM-PE	PIR (100 mm)	50 mm	Var	5 m	13,5 dk	0,38 m/dk*	1000 °C	13,5 dk

2.3.2.10 Topluluklar ve Yerel Yönetim Departmanı (DCLG)'nın Havalandırmalı Giydirme Cephe Yangın Yayılım Deneyi

Grenfell Tower'da çıkan yangının ardından İngiltere hükümeti tarafından, binaları güvenli hale getirmek için alınması gereken önlemler konusunda tavsiyelerde bulunmak üzere Bağımsız Uzman Danışma Panelini (Independent Expert Advisory Panel) kurulmuştur. Bu kurulan panel kapsamında, Topluluklar ve Yerel Yönetim Departmanı (Department for Communities and Local Government, DCLG) tarafından 2017 yılında bir deney serisi hazırlanmıştır. Bu deney serisi kapsamında, yedi kaplama sistemi kombinasyonu test edilmiştir.

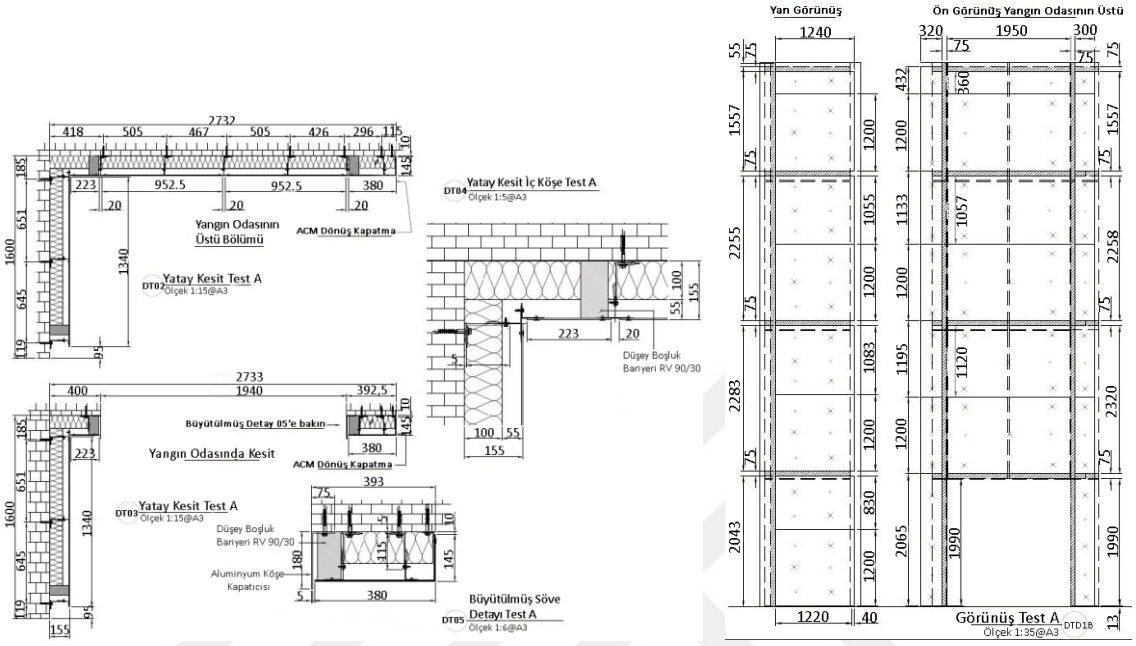
Bu deneyler, çekirdek malzemesi polietilen, alev geciktirici polietilen ve sınırlı yanıcı mineralden oluşan 3 ayrı ACM panel tipi ile yapılmıştır (Tablo 2.17) (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017).

Tablo 2.17 DCLG deneyleri deney düzenek kombinasyonları (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017)

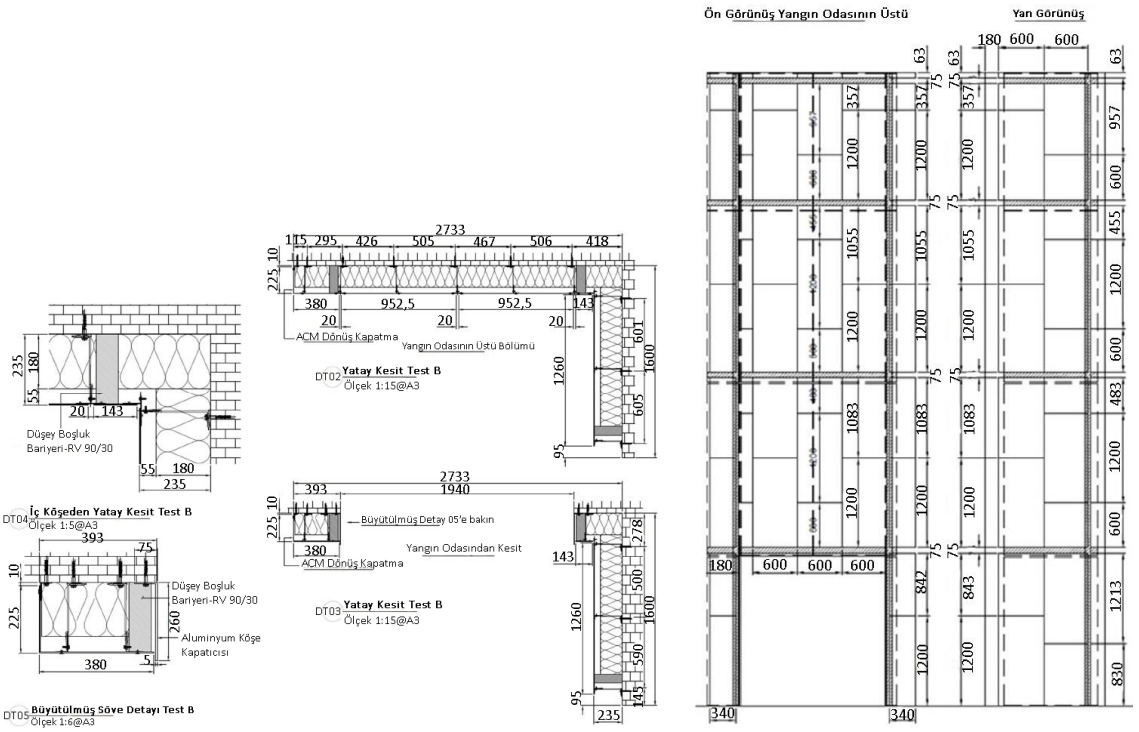
No	Cephe Kaplaması	Cephe Yalıtımı		Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri			Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi
					Malzeme	Kalınlık			
						Düşey	Yatay		
1	ACM-PE	Folyo kaplı PIR köpük	100 mm	50 mm	Taş yünü	160 mm	125 mm	8,5 m	6,6 dk
2	ACM-PE	Taş yünü	180 mm	50 mm	Taş yünü	240 mm	205 mm	8,5 m	5,2 dk
3	ACM-PE(alev geciktirici)	Folyo kaplı PIR köpük	100 mm	50 mm	Taş yünü	160 mm	125 mm	8,5 m	23,4 dk
4	ACM-PE(alev geciktirici)	Taş yünü	180 mm	50 mm	Taş yünü	240 mm	205 mm	8,5 m	28,5 dk
5	ACM-Mineral Dolgu(sınırlı yanıcı)	PIR	100 mm	50 mm	Taş yünü	160 mm	125 mm	8,5 m	22 dk
6	ACM-Mineral Dolgu (sınırlı yanıcı)	Çift Yoğunluklu Taş Yünü	180 mm	50 mm	Taş yünü	240 mm	205 mm	8,5 m	58 dk
7	ACM-PE(alev geciktirici)	Folyo kaplı Fenolik köpük	100 mm	50 mm	Taş yünü	160 mm	125 mm	8,5 m	26 dk

Bu cephe sisteminde 50 mm genişliğindeki hava boşluğunun havalandırmasını sağlamak amacı ile paneller arasında 20 mm derz bırakılmıştır. Bu hava boşlukları,

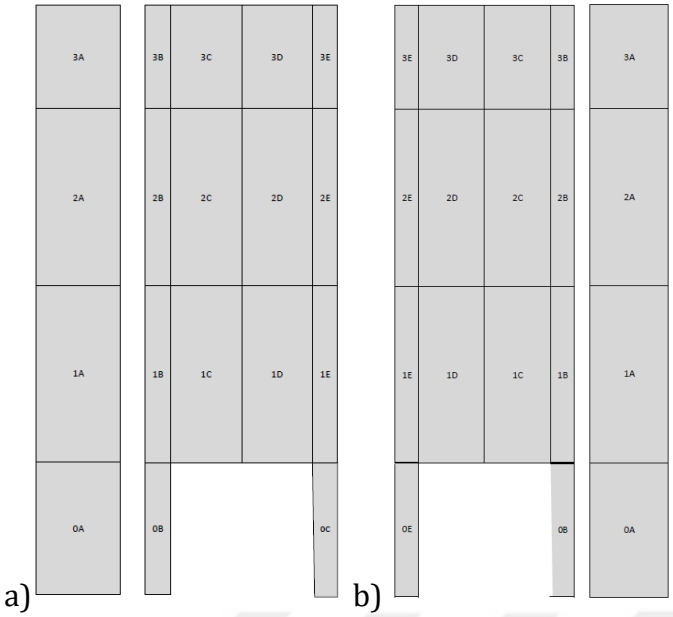
üç düşey ve dört yatay yangın bariyeri içermektedir. Yatay yangın bariyerleri ile kaplama arasında 25 mm boşluk bırakılmıştır. Deney düzeneğinin toplam yüksekliği 8,5 metredir (Şekil 2.66, 2.67) (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017).



Şekil 2.66 Deney düzeneği 1,3,5,7 yangın bariyeri planı ve görünüşü (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 7, 2017).



Şekil 2.67 Deney düzeneği 2,4,6 yangın bariyeri planı ve görünüşü (DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 6, 2017).



Şekil 2.68 a) Deney düzeneği 1, 3, 5, 7'nin panel yerleşim şeması b) Deney düzeneği 2, 4, 6'nın panel yerleşim şeması (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017).

Deney düzeneği 1'de alevler, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 6 dakikada ulaşmıştır. 6,5 dakikada deney düzeneğinin bir metre üstünde alevler görülmüş ve 5 saniye sonra deney sonlandırılmıştır. Kaplama ve PIR yalıtım malzemesi 6,6 dakikada yanma odasının 1 metre üstüne kadar hasar görmüştür (Şekil 2.95). Yanma odasının bulunduğu duvarda üçüncü ve dördüncü yatay boşluk bariyerinde kısmi aktivasyon gözlemlenmiştir. Düşey boşluk bariyeri ise yangını yanma odası genişliği boyunca sınırlandırmış ve yangının diğer duvara sirayet etmesini engellemiştir (DCLG Test 1, 2017).

Deney düzeneği 2'de alevler, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 5 dakikada ulaşmıştır. 5,2. dakikada deney sonlandırılmıştır. ACM kaplamada 5,2 dakikada yanma odasının 1.8 metre yüksekliğine kadar hasar görülmüştür (Şekil 2.80). Taş yünü yalıtım panellerinde renk değişikliği dışında bir hasar görülmemiştir. Yanma odasının üstündeki birinci ve ikinci yatay boşluk bariyerinin ısı ile teması doğrultusunda aktivasyonunun gerçekleştiği görülmüştür. Üçüncü boşluk bariyerinin aktivasyonunun ise kısmi olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 2.36). Ancak dördüncü yatay boşluk bariyerinde herhangi bir aktivasyon olmamıştır. Düşey boşluk bariyeri ise yanma odasının bulunduğu duvardan itibaren

yangını sınırlandırmış ve diğer duvara yangının sirayet etmesini engellemiştir (DCLG Test 2, 2017).

Deney düzeneği 3 için, alevler, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 23 dakikada ulaşmıştır. 23,4. dakikada deney sonlandırılmıştır. ACM kaplamada 23,4. dakikada yanma odasının 6 metre yüksekliğine ve yalıtım malzemesinin (PIR) 4,7 metre yüksekliğine kadar hasar görülmüştür (Şekil 2.95). Yanma odasının üstündeki birinci olarak konumlanan yatay boşluk bariyeri şişerek önemli bir yangın yüküne maruz kalmış ve deney sırasında önemli bir tahribat ve ayrılma meydana gelmiştir. İkinci yangın bariyeri aktive olmuş ve tüm genişliği boyunca şişmiştir. Üçüncü sıradaki yatay boşluk bariyeri kısmi olarak aktivasyon göstermiştir. Dördüncü yatay boşluk bariyerinin ise aktivasyonun ilk aşamasını gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Düşey boşluk bariyerleri ise yanma odasının bulunduğu duvardaki hasarı iki düşey bariyer arasında sınırlandırmıştır. Böylece bariyerler yangın yüküne karşı bozulmadan kalmıştır (DCLG Test 3, 2017).

Deney düzeneği 4 için, alevler, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 28,5 dakikada ulaşmıştır. 59 dakika 35 saniyede dakikada deney sonlandırılmıştır. ACM kaplamada 28,5. dakikada yanma odasının 6 metre yüksekliğine kadar hasar görülmüştür (Şekil 2.80). Taş yünü yalıtım malzemesinde herhangi bir hasar olmamış, tüm yatay boşluk bariyerleri aktive olmuştur. Üçüncü sırada bulunan boşluk bariyerinin bir kısmı numuneden ayrılmıştır. Ancak üçüncü ve dördüncü yatay şişen bariyerler yanma odasının bulunduğu duvardaki düşey bariyerden sonraki kısmi yangından etkilenmemiş ve aktive olmamıştır (DCLG Test 4, 2017).

Deney düzeneği 5 için, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 22 dakikada ulaşmıştır. 58 dakika 15 saniyede deney sonlandırılmıştır. ACM kaplama ve PIR yalıtım malzmesi yaklaşık 58 dakikada yanma odasının yaklaşık 4,7 metre yüksekliğine kadar hasar görmüştür (Şekil 2.80). Yanma odasının üzerinde bulunan birinci ikinci ve üçüncü sırada bulunan yatay boşluk bariyeri yangın esnasında aktive olmuştur. Yanma odası ile aynı hizada olan kısım yangın yükü ile tükenmiştir ve o kısımda bulunan bariyer çökmüştür. Dördüncü sıradaki yatay boşluk bariyerinin bir kısmının erken aktive olduğu belirtilmiştir. Düşey boşluk bariyeri yanma odasının açıklığının yüksekliğinden ikinci yatay boşluk bariyerinin yüksekliğine kadar, ana duvarın kanat bölümüne yakın olan düşey boşluk bariyeri

önemli ölçüde renk değiştirlmiştir (Şekil 2.65). İkinci ve üçüncü yatay boşluk bariyerinin arasında bulunan düşey boşluk bariyerinin rengindeki bozulmaların azaldığı görülmüştür. Yanma odasının bulunduğu duvarda bulunan diğer düşey bariyer ise renk değiştirmiş ancak sağlam kalmış ve yangının dış duvarın kenarına yayılmasını engellemiştir (DCLG Test 5, 2017).

Deney düzeneği 6 için, alevler, yaklaşık 22. dakikada en fazla en üstte bulunan panellerinin tabanına kadar ulaşmış. Deney 58. dakikada söndürülmüştür. ACM kaplama yaklaşık 58 dakikada yanma odasının yaklaşık 5 metre yüksekliğine kadar hasar görmüştür (Şekil 2.80). Taş yünü yalıtımı bozulmadan yerinde sabit kalmıştır. Birinci ve ikinci yatay bariyer aktive olmuş ve şişen kısımları düşmüştür. Üçüncü yatay bariyeri aktifleşmiş ve şişen kısımları yerinde kalmıştır. Dördüncü yatay bariyer aktifleşmemiştir. Fakat duvar birleşim yerindeki ikinci düşey boşluk bariyerleri ikinci yatay bariyere kadar bozunmalar meydana gelmiştir (DCLG Test 6, 2017).

Deney düzeneği 7 için, alevler, tüm kaplama sisteminin en üst noktasına yaklaşık 26 dakikada ulaşmıştır. 58 dakika 15 saniyede deney sonlandırılmıştır. Alevler, yaklaşık 26. dakikada yangın odasından itibaren 6 metreyi etkilemiştir. Deney düzeneği 7'de ACM kaplama ve fenolik köpük yalıtım malzemesi 6 metre yüksekliğine kadar hasar görmüştür (Şekil 2.80). Dördüncü yatay bariyeri haricinde tüm yatay bariyerler aktifleşmiş ve hasar görmüşlerdir. Düşey boşluk bariyerleri ise yanma odasının açıklığının yüksekliğinden ikinci yatay boşluk bariyerinin yüksekliğine kadar, ana duvarın kanat duvara yakın olan kısmında bulunan düşey boşluk bariyeri renk değiştirmiştir. Boşluk içinde yayılan yangın, kanat duvarında bulunan düşey boşluk bariyerine ulaşamamıştır (DCLG Test 7, 2017).



Şekil 2.69 Sırasıyla deney düzeneği 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7'nin deney bitimindeki hasar durumu (DCLG Test 1, 2017; DCLG Test 2, 2017; DCLG Test 3, 2017; DCLG Test 4, 2017; DCLG Test 5, 2017; DCLG Test 6, 2017; DCLG Test 7, 2017).

İncelenen havalandırmalı giydirme cephe deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda yangın yayılımına ve hızına etki eden unsurlar nedenleri ile birlikte sekiz maddede toplanmıştır.

- Havalandırmalı giydirme cephe yangınlarında hava boşluğunda bulunan sınırlı alan ve hava sirkülasyonu alevin yükselmesine sebep olmaktadır.

- Hava boşluğundaki oksijen miktarı yangının yayılmasına etki etmektedir. Dar boşluklarda hava akışının kısıtlanması durumunda oksijen yenilenememekte ve içerideki yalıtımın yanması için yeterli oksijen miktarına ulaşılamamaktadır. Hava boşluğu arttıkça bu durum tersine dönmektedir.

- Cephede yanıcı kaplama malzemesi kullanımı yangın yayılımına ve hızına etki etmektedir. Hava boşluğu sebebiyle kaplama malzemesinin her iki tarafı yangından etkilenmektedir. Dolayısıyla yanıcı kaplama malzemesi kullanıldığı taktirde kaplamanın her iki tarafı da yanmaktadır.

- Hava boşluğu içinde oluşan ısı miktarı yangın yayılımına ve hızına etki etmektedir. Hava boşluğunun genişliği yangın yayılım hızını etkilemektedir. Hava boşluğunun genişliği arttıkça boşluğa giren sıcak hava ve yanıcı gaz fazlalaşmakta ve bu nedenle boşluk içindeki ısı miktarı artmaktadır.

- Hava boşluğu genişliği yangın yayılımına ve hızına etki etmektedir. Genişlik arttıkça alev yüksekliği azalmaktadır. Bu durumla orantılı olarak ısı yayma oranı ve kütle yanma hızı da düşmektedir.

- Yatay ve düşey yangın bariyerlerinin konumu ve adeti yangın yayılımına ve hızına etki etmektedir. Yangın bariyerlerinin sayısı arttıkça maksimum sıcaklık değeri düşmektedir. Ancak yangın bariyerlerinin pratikte uygulanabilir adette ve konumda olması gerekmektedir.

- Yanıcılık sınıfı yüksek olan yalıtım malzemeleri yangın hızına ve yayılımına olumsuz yönde etki etmektedir.

- Cephe kaplamasının bütünlüğünün korunması veya korunamaması yangın yayılımına ve hızına etki etmektedir.

şeklinde tespit edilmiştir.

3
HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHE SİSTEMİNDE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDART VE YÖNETMELİKLER KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Cephe sistemi ve malzeme bileşenlerinin yangın performansı ile ilgili düzenlemeler ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir (Strömgren vd,. 2013). Ancak tüm Avrupa'da geçerli olan Euroclass sistemi yapı malzemelerinin yangın sırasındakidavranışını ve katkısını sınıflandırmaktadır. A2'den E'ye kadar olan sınıfların belirlenmesi test yapılarak gerçekleştirilmekte ve sonucunda ise Euroclass sistemi tarafından sertifikalandırılmaktadır.

Bir binanın dış kabuğu, binanın bir bölümünden diğer bölümüne yangının yayılmasına katkıda bulunmamalıdır (Approved Dozument B Volume 1, 2022). Cephe yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmeliğin değerlendirilebilmesi ve karılaştırılabilmesi amacıyla konu ile ilgili kapsamlı standartlar sunan, havalandırmalı giydirme cephe sistemi kullanımının yaygın olduğu ülke mevzuatları ele alınmıştır. Bu amaçla, Türkiye Cumhuriyeti, İngiltere, Birleşik Arap Emirlikleri, Avustralya, İsveç ve Amerika Birleşik Devletleri'nin yangın yönetmelikleri kapsamlı olarak incelenmiş ve karşılaştırmalı analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında, cephe sisteminin dayanım süreleri, cephe malzemeleri, yatay yangın bariyerleri, hava boşlukları, yalıtım malzemeleri, cephe açıklıkları, binalar arası mesafeler ele alınmıştır. Mevzuat incelemeleri pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında gerçekleştirilmiştir.

3.1 İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B Volume 1-2)

İngiltere yangın yönetmeliği onaylı belge B dir. 2 ciltten oluşmaktadır. 1. cilt konutları kapsamakta, 2. cilt konut dışındaki tüm binalar için yönergeleri belirlemektedir. Yönetmelik, dış cephe kaplaması ile ilgili malzeme gereksinimlerini ilgili sınıra en kısa mesafeye göre tanımlamaktadır. İlgili sınır mesafesi tanımı ise,

binanın bir tarafının baktığı ve binanın bakan tarafına paralel veya maksimum 80 derecelik bir açıda olan sınır (diğer yapının sınır mesafesi) veya kavramsal sınır olarak belirtilmektedir. Anlamsal olarak iki bina arasında bulunan ortak sınır mesafesi olarak yorumlanabilmektedir. Bu sınır mesafesi ise yönetmelikte 1m olarak belirlenmiştir (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Dış duvarların dış yüzeyinde kullanılan malzeme (cephe kaplama malzemesi) için yangına tepki performansları, Bölüm B4 tablo 12.1'de belirtilen kurallara uygun olmalıdır. Bu kurallara göre, yapı yüksekliği zemin seviyesinden 18 m yükseklikte bir katı olan, bir veya birden fazla mesken içeren veya bir kurum içeren veya ikamet amaçlı bir oda içeren yapılarda kullanılan cephe malzemeleri ilgili sınır mesafesi farketmeksizin class A2-s1, d0 veya daha iyi olmak durumundandır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Yapı yüksekliği 11m'den fazla olan barınma yeri içeren kuruluşlar (otel, pansiyon, yatılı kolej, öğrenci yurdu, hastane, ev, okul vb. yasal gözaltı yeri ve konaklama birimi olan kuruluşlar) apartmanlar, konut içeren yapıların (yükseklik min. 4,5m-max 18m) cephe kaplama malzemesi sınır mesafesi farketmeksizin en az class A2-s1, d0, olmalıdır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Toplanma, eğlenme ve dinlenme amaçlı yapıların (sinema, dans salonları, yüzme havuzları, spor salonları, mahkemeler, klinikler, yatılı olmayan bakım evleri, halk kütüphaneleri, ibadethanler vb. yatılı olmayan yerler)cephe kaplama malzemesi, yapı 18 metrenin üstünde ise ve iki bina arasında bulunan sınır mesafesine 1 metreden daha az var ise class B-s3, d2 veya daha iyi olmalıdır. Ancak yapı bu sınıra 1 metreden daha uzak ise zemin kattan 18 metreye kadar minimum class C-s3, d2 şartını sağlamalıdır. 18 m'den çatının bitiş noktasına kadar ise class B-s3, d2 veya daha iyi olmalıdır(Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Bahsedilen bu yapılar dışında bulunan diğer yapıların yüksekliği 18 metreden yüksek ve sınır mesafesine 1metreden az ise, cephe kaplama malzemesi minimum class B-s3, d2 şartını sağlamalıdır. Ancak yapı sınıra 1 metreden fazla ise zemin

kattan 18 metreye kadar minimum class C-s3, d2, 18 metreden sonrası için ise class B-s3, d2 şartının sağlamalıdır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Yönetmelikte malzemeler ve ürünler bölümü kural 12.6'ya göre, yüksekliği 18 m ve daha fazla olan yapılarda kullanılan herhangi bir yalıtım ürünü ve dolgu malzemesi (metal kompozit panellerin çekirdek malzemeleri, pencerelerde bulunan spandrel panellerin çekirdek malzemeleri (contalar ve dolgu malzemeleri hariç) yangın sınıfı A2-s3, d2 veya daha iyisi olmalıdır. Madde 12.7'ye göre ise, konut amacı içeren ve yüksekliği 11 m veya daha fazla olan yapılarda ise bahsedilen malzemelerin sınıfı minimum A2-s1, d0 olmalıdır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Metal kompozit malzemeler için yönetmelikte madde 12.12 ve 12.13'e göre, BS EN ISO 1716'ya göre test edildiğinde brüt ısıl değeri 35 mJ/kg'dan fazla olan bir malzemeden yapılmış, kalınlığı 10 mm'den fazla olmayan metal alaşım veya metal bileşimden yapılmış birkaç katmandan oluşan metal kompozit malzemeler kullanılmamalıdır. Sağlam bir katman olarak değerlendirilen malzeme ise, 1 mm kalınlığında veya birim başına kütlesi en az 1 kg/m3 olan bir katman olarak tanımlanmaktadır(Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Madde 12.22.a'ye göre, dış duvar konstrüksiyonunun bir parçası olarak kullanılan membranlar, minimum B-s3, d0 sınıfına ulaşmalıdır. Cam ve pencere çerçeveleri için bu kuralı geçerli değildir(Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Madde 12.22.b'ye göre konut amaçlı kullanılan yapılarda camlarda bulunan spandrel bölgede kullanılan panellerin ve metal kompozit panellerin çekirdek malzemesi için A2-s1-d0 veya daha iyisi olmalıdır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Kural 12.22.e'ye göre, ısı köprüsünü engellemek için kullanılan malzemeler için minimum performans ölçütü bulunmamaktadır, ancak bu malzemeler ısı köprüsünü sınırlamak için gereken minimum boyutlar ile sınırlandırılmalıdır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

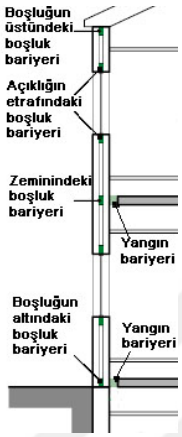
Genel kural 7 ye göre, zemin seviyesinden en az 18 m yükseklikte ve bir veya daha fazla konut içeren herhangi bir binada (yurt, bakım evi, korunaklı konut, hastane yatılı okul dahildir) dış duvarın veya belirtilen bağlantısının parçası haline gelen malzemelerin, BS EN 13501-1'e göre A2-s1, d0 veya A1 sınıfına sahip olması gerekir. Ancak bu kuralda muaf olan malzemeler arasında; membranlar, contalar, sabitlemeler, destek çubukları, zemin seviyesinin altında veya bu seviyenin 300 mm yukarısına kadar kullanılan yalıtım ve su geçirmezlik malzemeleri, şişen ve yangın durdurucu malzemeler, pencere çerçeveleri ve cam, kapı çerçeveleri ve elektrik tesisatları mevcuttur. Fakat tüm yeni binaların ve inşaat aşamasında bulunan binaların dış duvarlarında yükseklik veya kullanımdan bağımsız olarak değiştirilmemiş polietilen çekirdekli metal kompozit malzeme kullanımı tamamen yasaktır (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Cephede bulunan gizli açıklıklarda ise yangın durdurucu ve boşluk bariyeri kullanılması gerekmektedir. Kural 9.2'ye göre yapılarda boşlukları bölmek ve boşlukların kenarlarını kapatmak için kullanılan boşluk bariyerleri zemin ve duvar arasındaki bağlantı noktalarında ve pencere gibi açıklıkların kenarlarında konumlandırılmalıdır. Kural 9.13'e göre bu konumlardaki boşluk bariyerleri yangın esnasında bütünlüğünü 30 dakika (E 30) koruyabilecek ve 15 dakika yangına yalıtım (I 15) sağlayabilecek bir malzeme seçilmelidir. Kural 9.14'e göre ise mineral yün malzeme kullanılmalıdır. Ayrıca bu sağlanan boşluk bariyerlerinin, dayandıkları herhangi bir malzeme veya yapının yangında arızalanması nedeniyle performanslarının etkisiz hale gelme olasılığını engellemek için sağlam bir yapıya sıkıca oturtulmalı ve sabitlenmelidir (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Kural 8.2'ye göre, yangın durdurucu konumunu bir duvarın veya bir zeminin diğer bir duvar ile birleşmesi noktasında olması gerektiğini belirtmektedir (Şekil 3.1).Yangın ayırıcı elemanların arasındaki derzler yangın durdurucu olmalıdır. Kural 10.28 ve 10.29'e göre, yangın durdurucular ASFP Kırmızı Kitap'a (Association for Specialist Fire Protection- Red Book) uygun olarak yapılmalıdır. Kural 10.27'ye göre, yangın durdurucu olarak konuma ve duruma uygun olarak,çimento harcı, alçı esaslı sıva, çimento esaslı veya alçı esaslı vermikülit/perlit karışımları, cam elyafı,

ezilmiş kaya, yüksek fırın cürufu veya seramik esaslı ürünler ve şişen mastikler kullanılmalıdır(Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

Yönetmelikte bölüm B4'te bulunan diyagram 9.1'e göre, yangın durdurucu ve boşluk bariyeri şekil 3.1'de görülmektedir (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).



Şekil 3.1 Onaylanmış Belge B İngiltere Yangın Yönetmeliğine göre yangın durdurucu ve boşluk bariyeri konumları (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022)

Cephede istenilen yangın dayanım süreleri ise bina yüksekliğine ve binanın sprinkler sistemli veya sprinkler sistemsiz olmasına göre değişiklik göstermektedir (Approved Document B Volume 1, 2022; Approved Document B Volume 2, 2022).

3.2 Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik

Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'te cephe ile ilgili bilgilere Bölüm 3 ve Bölüm 4'ten ulaşılmaktadır. Cephe hakkında yangın dayanım kuralları yapının yüksekliğine göre belirlenmektedir (BYKHY, 2021).

Yönetmelikte madde 27(1)'e göre dış cephelerde kullanılan malzemelerin, bina yüksekliği 28.50 m'den fazla olan binalarda zor yanıcı (A2 – s1, d0) malzemeden ve diğer binalarda ise en az zor alevlenici (B, C – s1, d0, A2 – s2, d0, A2, B, C – s3, d0, A2, B,C – s1, d1, A2, B,C – s1, d2) malzemeden olması gerekmektedir (BYKHY, 2021).

Madde 27(3)'e göre, derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemli binalarda kullanılan cephe ve yalıtım malzemeleri en az zor yanıcı olmalıdır (BYKHY, 2021).

Yönetmelikte yapı elemanlarının yangın dayanım sürelerine ait Ek-3/B tablosuna göre, yangın kesici bariyerler 30 dk yangına dayanıklı olmalıdır (BYKHY, 2021).

Madde 27(4)'e göre, ormanlık içinde veya bitişiğinde yapılacak rafinerilerde, fosil yakıt kaynaklı elektirik üretim tesislerinde, enerji üretim tesislerinde, toplam kapalı kullanım alanı 2000 m^2'den büyük fabrikalarda ve bunların depolama tesislerinde yapılacak tüm dış cephelerin (balkon, çıkma, baca, teras ve benzerleri dâhil); hiç yanmaz malzemeden olması, kapı ve pencere doğramalarının hiç yanmaz malzemeden olması ve en az 30 dakika yangına dayanıklı olması, kapı ve pencerelerde asgari çift cam kullanılması veya kullanılacak camın kırılmaz ya da 30 dakika yangına dayanıklı olması gerekmektedir. Binaya 15 m'den daha yakın eklentilerin dış cephelerinin de hiç yanmaz malzemeden veya en az 30 dakika yangına dayanıklı olması beklenmektedir (BYKHY, 2021).

Bölüm 4 madde 29(2)'ye göre, yangına karşı güvenlik bakımından, kolay alevlenen yapı malzemelerinin inşaatta kullanılmasına müsaade edilmemektedir. Kolay alevlenen yapı malzemeleri, ancak, bir kompozit içinde normal alevlenen malzemeye dönüştürülerek kullanılabilinmektedir (BYKHY, 2021).

Yönetmelikte Ek-2/c tablosuna göre, test edilmeye gerek olmayan A1 sınıfı kabul edilen malzemeler; genleşmiş kil, genleşmiş perlit, mineral yün, selüler cam, beton, gaz beton, çimento, elyaflı çimento, kireç, yüksek fırın cürufu, mineral agrega, demir, çelik, paslanmaz çelik, bakır, bakır alaşımları, çinko ve çinko alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları, kurşun, alçı, alçı bazlı sıvalar, inorganik bağlayıcı elemanları olan harçlar, killi malzemeler, kalsiyum silkat birimler, doğaltaş, arduvaz birimleri, alçı birimler, çimento mozaik, cam, cam seramik, seramik şeklinde belirtilmiştir (BYKHY, 2021).

3.3 Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAE Civil Defence Fire Code)

2018 yılında yenilenmiş şekilde yürürlülüğe giren UAE Civil Defence Fire Code isimli Birleşik Arap Emirlikleri yangın yönetmeliği malzeme ve cephe sistemlerinden beklenen askeri yangın performansını belirtmektedir. Cephe sistemleri ve bileşenlerinin yüzey yanıcılığı, alevlerin yayılım oranı, tasarım montaj, kontrol, bakım parametrelerini ASTM, UL, BS, EN, DIN, NFPA, ISO,BRE ve FM test standartları kapsamında değerlendirmektedir.

Binalar arasında kritik uzaklık yönetmelikte 1 metre olarak alınmıştır. Bir metre veya daha az mesafeden yangın dayanımı olmayan (korunumsuz) cephe açıklıklarına izin verilmemektedir. İki bina arasında bulunan sınır mesafe 1 metreden fazla ise cephelerde yangına dayanımı olmayan açık alan yüzdesi bina kullanım sınıfına ve sprinkler sisteme bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda kaplama panellerinin arkasında alüminyum destek kullanılması kabul edilmemektedir (UAEM, 2018).

Toplanma, iş, eğitim, sağlık, otel, konut, hafif tehlike içeren endüstriyel yapılarda yapının arazi sınırına kadar olan mesafe 0 ile 3 m arasında ise, 1 saat yangına dayanım istenmektedir. Ticari, orta tehlike içeren endüstriyel yapılarda 0 m ile 1,5 m arası sınır mesafesinde cephelerde 2 saat yangın dayanımı istenmektedir. Sınır mesafesi 1,5 m ile 3 m arasında ise 1 saat yangına dayanım istenmektedir. Bu yapılar için 3 m'den sonra herhangi bir gereklilik mevcut değildir. Ağır tehlikeli endüstriyel yapılarda ise 0 m ile 1,5m arasında 3 saat, 1,5 m ile 3 m arasında 2 saat, 3 m ile 9 m arasında ise 1 saat yangına dayanım istenmektedir. 9 m'den büyük mesafeler için ise herhangi bir gereklilik bulunmamaktadır (UAEM, 2018).

Yönetmelik madde 4.5.9'de dış duvarlardaki açıklıkların yangın yayılımına etkisinin sınırlandırılması için gerekli kurallar belirtmiştir. Yatay olarak birbirinden 1524 mm mesafede bulunan binaların dış cephesinde yangın yayılmasını önlemek için bitişik katlarda bulunan dış duvarlardaki açıklıklar dikey olarak spandrel bölgelerle birbirinden ayrılmalıdır. Bu bölgelerde, düşey yönde minimum 914 mm'den az olmamak kaydıyla en az 60 dakika yangına dayanıklı koruyucu bariyerler veya 60

dakika yangına dayanıklı minimum 762 mm olan yatay yönde yangın dayanıklı koruyucu bariyerler kullanılmalıdır. Spandrel panellerin taşıyıcılarının da 1 saat yangına dayanıklı olması gerekmektedir (UAEM, 2018).

Yönetmelik madde 4.5.5'de dış cephe kaplama malzemesi üzerinden yangın yayılımını engellemek için uygulanması gereken yangın molası kuralları belirtilmiştir. Dış cephelerde düşey yönde 15 m'den fazla uzunlukta kaplama malzemelerinin kullanımı kısıtlanmakta ve devam eden 6 m boyunca beton veya seramik gibi yanıcı özellikte olmayan kaplama malzemelerinin yangın kesici olarak kullanılması gerekmektedir (UAEM, 2018).

Yönetmelik Bölüm 4'te cephe sistemlerinde kullanılacak kaplama malzemeleri ayrı başlık altında incelenip, yangına dayanıklılık standartları belirtilmiştir. Bölüm 4.16'da metal kompozit paneller (MCM) ve alüminyum kompozit panellerin (ACP) yangın dayanım gereksinimleri belirtilmiştir. Cephe ve dış duvar montajında kullanılan sandviç paneller dışındaki metal kompozit panellerin (MCM) ve alüminyum kompozit panellerin (ACP), minimum dış kaplama kalınlığı 0,5 mm, minimum iç kaplama kalınlığı 0,25 mm ve maksimum panel kalınlığı 6,3 mm olmalıdır. MCM ve ACP panellerin, yönetmelikte yer alan tip I-IV aralığındaki yapılarda kullanımına izin verilmektedir. Bu panellerinin çekirdek malzemesi, köpük plastik yalıtım, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) veya yoğunluğu 320 kg/m3'ten az olan herhangi bir genleşmiş plastik olmamalıdır. Tip I; yanmaz veya sınırlı yanıcı, yüksek düzeyde yangın direncine sahip beton yapılardır. Tip II; tip I'den daha düşük seviyede yangın direncine sahip, yanmaz veya sınırlı yanıcı çelik konstrüksiyondan oluşan yapılardır. Tip III; ahşap strüktür sistemine sahip yapılardır. Tip IV ise; lamine ahşap strüktür sistemine sahip yapılardır (UAEM, 2018).

Bölüm 4 tablo 1.14'e göre, MCM ve ACP panellerinde kullanılacak olan çekirdek malzemesi kaplama malzemesinden ayrı bir şekilde EN 13501-1 ve ASTM D1929 test standartlarına göre test edilmelidir. Panel ise çekirdek malzemesinden ayrı bir şekilde, EN 13501-1 ve ASTM D1929 test standartlarında bulunan kalınlıklar göz önüne alınarak test edilmelidir (UAEM, 2018).

Yangına direnimsiz ve yük taşımayan dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerinin çekirdek ve panel ürünleri, yönetmelikte yer alan tablo 1.14.a'ya göre çok yüksek ve yüksek binalarda, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplanma binalarında minimum A1 veya A2-s1-d0 olması gerektiği, tutuşma sıcaklığının ise 343 °C'nin altında olmaması gerektiği belirtilmektedir. Alçak binalar, orta yükseklikte binalar, depo ve endüstriyel binalarda ise bu malzemeler minimum B-s1-d0 sınıfı olmalı ve tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Aynı zamanda bu yapı tiplerinde kullanılacak MCM ve ACP paneller bütün bir şekilde duvara monte edilerek BS8414-1, BRE 135, NFPA 285, FM 4881, ISO 13785-2 test standartlarının herhangi birine göre deney yapılmalı ve onay belgesi alınmalıdır. Bu şartlara sahip olan plastik veya mineral çekirdek malzemelerinin yapıda kullanılmasına izin verilmektedir (UAEM, 2018).

Tablo 1.14.b'ye göre, yangına direnimli dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerininin çekirdek ve panel ürünleri birbirinden ayrı şekilde binanın yükseklikliği, kullanıcı sayısı ve türü farketmeksizin minimum A1 veya A2-s1-d0 olması, tutuşma sıcaklığı 343 °C'nin altında olması gerekmektedir. Ancak bu yapı tipleri MCM ve ACP panellerinin panel ve çekirdek malzemesi bütün bir şekilde duvara monte edilmiş hali ile test edildiğinde 1 saat, 2 saat veya 3 saat yangına direnim oranı istenmektedir. Ancak yangına dayanıklı cephe sisteminin yangına dayanıklılık performansı, ASTM E119'a (veya eşdeğerine) göre test edildiğinde sadece MCM/ACP panel elemanının değerini değil, dış cephe duvarının bütüncül bir sonucunu temsil etmektedir (UAEM, 2018).

Yönetmelikte bölüm 4.10'da ise, katkılı betonarme kaplama malzemeleri hakkında yangın dayanım kuralları belirtilmiştir. GRC/GRFC panel ürünleri, cam elyaf takviyeli beton türüdür. Bu panel ürünlerinin yanıcılık sınıfları yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplama sistemi olarak kullanılıyor ise; çok yüksek ve yüksek binalarda, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplanma amaçlı binalarda EN 13501-1 doğrultusunda sadece kaplama ürünü test edildiğinde minimum A veya A2-s1-d0 olmalıdır. ASTM D1929 test standartına göre test edildiğinde ise tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Düşük ve orta yükseklikte binalar, depo ve endüstriyel yapılarda ise bu test standartlarına göre kaplama ürününün minimum yangın sınıfı B-s1-d0 sınıfı olmalı ve tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında

olmamalıdır. Ancak bu kaplama panellerinin duvara montajlı şekilde test edildiği durumlarda BS 8414-1 veya 2, BRE 135, FM 4881, ISO 13785-2 test standarlarının herhangi birinden onay alması gerekmektedir (UAEM, 2018).

Yönetmelikte bulunan tablo 1.18.a'ya göre yangına direnimsiz ve yük taşımayan dış duvarların kaplamalarında kullanılacak olan GRC/GRFC, GRP kaplama panelleri, EN 13501-1 doğrultusunda test edilmeli ve yanıcılık sınıfı minimum A veya A2-s1-d0 olmalıdır. ASTM D1929 test standartına göre test edildiğinde ise tutuşma sıcaklık derecesi 343°C'nin altında olmamalıdır. Ancak bu kaplama panelleri duvara montajlı bir şekilde test edilecekse ASTM -E 119, UL 263, EN 1362-3, EN 1362-4 test standartlarının herhangi birine göre test edilmeli ve testten geçme kriterini sağlamalıdır. Duvardan istenen yangın derecelendirilmesine göre 1 saat, 2 saat veya 3 saat yangına dayanım beklenmektedir (UAEM, 2018).

Cam kaplama sistemlerinde ise yönetmelik bölüm 5'deki kurallar kapsamında EN yada Amerika yangın standartları kullanılmaktadır. Cam için sağlanması gereken yangın direnim süreleri 30 dk., 45 dk., 60 dk., 90 dk. ve 120 dk olarak belirtilmektedir (UAEM, 2018).

Yönetmeliğin 4.5.3 bölümünde yalıtım malzemeleri ile ilgili olarak ısı bariyerleri hakkında standartlara değinilmiştir. Bu yönetmeliğe göre ısı bariyerleri, metal kompozit malzeme (MCM) ve alüminyum kompozit panel (ACP) gibi cephe kaplama malzemeleri ile kullanılacak ise, ASTM E119 veya UL 263'e göre 15 dakika yangına maruz kaldıktan sonra, maruz kalmayan yüzeyin ortalama sıcaklık artışı 250°C'den fazla yükselmemeli ve UL 1040 veya UL1715'e göre en az 15 dakika yerinde kalmalıdır. Ayrıca MCM ve ACP kaplama malzemeleri, binanın içinden ve asma tavanlardaki havalandırma kısmından bir ısı bariyeriyle tamamen ayrılmalıdır. Bariyerler, yapıştırıcı ile sabitlenmemelidir. Birincil alt katman, yapısal çerçeve, duvar veya raylar üzerine mekanik olarak sabitlenmelidir. Ayrıca malzeme deliksiz bir yapıya sahip olmalıdır (UAEM, 2018).

Cephe malzemelerinden oluk, sızdırmazlık malzemeleri, contalar, destek çubuğu ve buhar bariyeri sistemlerinin kurallarına yönetmelikte bölüm 4.5.6.'da değinilmiştir. Bu maddeye göre, oluk dolgu macunları, destek çubukları, contalar ve buhar

kesicilerle ilgili olarak, yanıcı özellikteki silikon, dolgu malzemeleri veya test edilmemiş dolgu macunlarının kaplama panellerinin bağlantısında kullanımına izin verilmemektedir. Giydirme cephelerde, EN 13501-1'e göre test edilen ve B-s2-d0 veya C-s2, d0 sınıfına giren contalara, EPDM ürünlere ve kauçuk kaplama malzemelere ise izin verilmektedir (UAEM, 2018).

Bitüm 175°C yanma noktasına sahip olup ve bina kabuğu yangınlarının yayılmasına katkıda bulunduğundan yönetmelikte, korozyon önleyici veya su geçirmez kaplamalar olarak kullanılan bitüm, bitümlü ürünler ve yanıcı maddelerin, metal veya beton gibi birincil yüzeylere uygulanmaması gerektiği belirtilmektedir (UAEM, 2018).

Buhar bariyeri sistemleri (VBS) ve membranlar özellikle kauçuk, bitüm esaslı malzemeler içermesi nedeniyle yapıları gereği yanıcı olabilir ve yangın gelişimi ve yayılması açısından cephe sisteminin genel performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle VBS ürünü, EN13501-1'e göre yangın sınıfı A'yı karşılamalıdır (UAEM, 2018).

Cephe boşluğunda yangın yalıtımı ile ilgili kullanılacak malzemeler hakkında bilgi bölüm 4.5.4'te verilmektedir. Yangın bariyerleri, düşey yönde sürekli boşluklar içindeki alevi sınırlandırmalıdır. Bir odadan bitişik boşluğa yangının yayılmasını sınırlamak için her katta pencere açıklıklarının etrafında konumlandırılmalıdır. Cephede kullanılan yalıtım malzemesinin yanmaz malzeme olmadığı durumlarda ise her kat seviyesinde yatay, cephenin her yüzünde ise düşey yönde konumlandırılmalı ve yatay bariyerler sürekli olmalıdır. Bu boşluk bariyerlerinde bir ısı köprüsü olmamalıdır. Kullanılan malzeme yanmaz (A1 veya A2) olmalı ve en az 100 mm yüksekliğinde olmalıdır (UAEM, 2018).

Yangın bariyerlerinin kurulumunda, cephe kaplaması ile birincil alt tabaka arasında bölmelerin oluşturulması ve yangının geçebileceği boşlukların olmaması sağlanmalıdır. Bariyerler birincil alt tabakaya veya yapısal çerçeve sistemine mekanik olarak bağlanmalıdır. Bariyer ile alt tabaka veya dış cephe paneli arasında herhangi bir yangın yolu oluşmamasını sağlamak için bitişik yerleştirilmeli ve cephe panelinin arkasına uzatılmalı veya sıkıştırılmalıdır (UAEM, 2018).

Boşluğun havalandırmalı cephe tasarımının gerekli bir parçası olduğu ve boşluğun muhafaza edilmesi gerektiği durumlarda, bu amaç için onaylanmış bir intümesan (alev veya ısı karşısında şişerek şekil değiştiren) yangın bariyeri yapıya sabitlenerek kullanılmalıdır. Bu bantlar, aleve maruz kaldıklarında yangın bariyeri görevi görmeli ve boşlukları kapatmak için genişlemelidir (UAEM, 2018).

Bölüm 4.5.7'de pencere, kapı ve havalandırma açıklıklarında kullanılan denizlikler için uyulması gereken kurallar verilmiştir. Kaplama malzemelerinin kesiştiği yerlerdeki pencere pervazları, mekanik olarak şekillendirilmiş ve sabitlenmiş olmalıdır. Çelik malzemden veya sivil savunma onaylı bir yangın durdurucu malzeme ile pencereleri veya açıklıkları tamamen hizalayacak ve duvar tertibatının hem dış hem de iç yüzeylerine bindirilecektir. Cephe sisteminin dış ve iç yüzeyleri arasındaki herhangi bir boşluk yangının iç mekana ulaşmasını önlemek için korunmalıdır (UAEM, 2018).

Yönetmelik madde 4.2.1'de test yapılması zorunlu olan malzemeler belirtilmiş ve madde 4.2.2'de ise bu malzemelerin testlerini nasıl yapılması gerektiği ile ilgili kurallar belirlenmiştir. Metal kompozit paneller, sandviç paneller, dış cephe yalıtım ve kaplama sistemleri, GRC /GRFC ve GRP sistemleri ve cam sistemleri için, bina cephesinde kullanılması amaçlanan tüm sistem montajını (duvar panelleri, boşluklar, bağlantı elemanları, bariyerler ve diğer inşaat detayları, yalıtım, panel rayları, derzler, sızdırmazlık malzemeleri, ek yerleri dahil olmak üzere) içerecek şekilde test yapılmalıdır. Bu testlerin gerçekletiği laboratuvarlarda ise, test numunesinin boyutlarını, boşluklarını, derzlerini ve varsa sızdırmazlık malzemelerini amaçlanan nihai kurulum özelliklerine göre çeşitlendirerek yapılan testleri çoğaltmalıdırlar (UAEM, 2018).

3.4 Avustralya Yangın Yönetmeliği (National Construction Code, NCC)

Avustralya yangın yönetmeliği, belirli binaların güvenliği, sağlığı, rahatlığı, erişilebilirliği ve sürdürülebilirliği için gereken minimum seviyeyi belirler. Yönetmelik temelde 3 ciltten oluşmaktadır. Binalar kat yükseklikleri ve kullanım tiplerine göre gruplandırılmıştır. Binalar, tek birimli konutlar (1. Sınıf), iki veya

daha fazla birimli konutlar (2. Sınıf), 1. ve 2. sınıftaki yapıları kapsamayan otel, bakım evi, yurt gibi konaklama amaçlı yapılar (3. Sınıf), diğer üst sınıf kullanımlarındaki tek konut birimleri (4. Sınıf), ofis binaları (5. Sınıf), ticari binalar (6. Sınıf), otoparklar ve depolar (7. Sınıf), laboratuvarlar, endüstri binaları ve fabrikalar, üretim amacı ile kullanılan yapılar (8. Sınıf), kamu binaları, hastaneler, toplanma amaçlı binalar (9.Sınıf) ve bina sınıflandırmasına dahil olmayan yapılar (10. Sınıf) olarak sınıflandırılmaktadır (NCC, 2019).

Bu yapı tipleri Avustralya yangın yönetmeliğinde yangın risklerine göre de gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmada A sınıfı en yüksek seviye, C sınıfı ise en düşük seviye olarak belirlenmektedir (Tablo 3.1) (NCC, 2019).

Tablo 3.1 Avustralya yangın yönetmeliği kapsamında bina sınıfları yangın riski sınıflandırması (NCC, 2019)

Kat Sayısı	2,3,9. Sınıf Binalar	5,6,7,8 Sınıf Binalar
4 ve daha fazla	A	A
3	A	B
2	B	C
1	C	C

NCC yönetmeliği kapsamında cephe ile ilgili yangın güvenlik standartları cilt 1 ve cilt 2 serisinde verilmiştir. Cilt 1; çok konutlu, ticari, endüstriyel ve kamu binalarının ve bazı ilgili yapıların tasarımını ve inşasını kapsamaktadır. Cilt 2; evler, küçük barakalar, garajlar ve bazı ilişkili yapılar dahil olmak üzere daha küçük ölçekli binaların tasarımını ve inşasını kapsamaktadır (NCC, 2019).

Giydirme cephe, NCC'de yük taşımayan bir dış duvar olarak tanımlanmaktadır. Kaplamalar ise her katta tamamen desteklenen bir çerçeve (veya benzer yapı) içindeki yük taşımayan dış duvar anlamına gelen panel duvar olarak tanımlanmaktadır. (NCC, 2019).

Yönetmelik kapsamında yük taşımayan dış duvarların yangın dayanım süreleri, yapısal yeterlilik, bütünlük ve yalıtım kriteri olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmiştir. Bu dış duvarların yangın dayanım süreleri yapının diğer binalar ile ortak olan sınır mesafesine uzaklığı ile ilişkilendirilmiştir. A ve B sınıfı yapılar bu kapsamda değerlendirilmiştir (Tablo 3.2) (NCC, 2019).

Tablo 3.2 A ve B sınıfı yapılarda yapı elemanları yangına dayanım süreleri(dk) (NCC, 2019)

Yapı Elemanı		Yangına Dayanım Süreleri (R/E/I)(dk)			
		2,3 ve 4 Sınıflar	**5, 7a ve 9 Sınıflar**	**6 Sınıf**	**7b, 8 Sınıflar**
A Tipi Yapı	Sınır mesafesi 1,5 m'den az	-/90/90	-/90/90	-/90/90	-/90/90
	Sınır mesafesi 1,5 m ile 5 m arasında	-/60/60	-/60/60	-/60/60	-/60/60
	Sınır mesafesi 3 m'den fazla	-/-/-	-/-/-	-/-/-	-/-/-
B Tipi Yapı	Sınır mesafesi 1,5 m'den az	-/90/90	-/120/120	-/180/180	-/240/240
	Sınır mesafesi 1,5 m ile 5 m arasında	-/60/30	-/90/60	-/120/90	-/180/120
	Sınır mesafesi 3 m'den fazla	-/-/-	-/-/-	-/-/-	-/-/-

Yangının aynı tahsis alanındaki binalar arasında yayılmasını önlemek için başka bir binadan 1,8 m'den daha yakın mesafede bulunan bir binanın dış duvarları ve dış duvarlarındaki açıklıklar, 60 dakika boyunca 92,6 kW/m^2 ısı akışına dayanabilir olmalıdır. Bitişik tahsisdeki binalar arasında yangının yayılmasını önlemek için Tablo 3.3'ün 2. sütununda yer alan ısı akış değerleri geçilmemelidir (NCC, 2019).

Tablo 3.3 Cephelerin arasındaki mesafeye göre maksimum ısı akışı değerleri (NCC, 2019)

Sütun 1 (Konum)	**Sütun 2 (Isı akışı kW/m^2)**
Sınırda	80
Sınırdan 1 m uzaklıkta	40
Sınırdan 3 m uzaklıkta	20
Sınırdan 6 m uzaklıkta	10

A ve B tipi yapı sınıfında cephe malzemeleri yanmaz malzemeden olmalıdır. C tipi binalarda dış duvar yapımında ahşap yanıcı malzeme kullanılmamaktadır.

Cephe açıklıklarının yangına dayanımının sağlanmasında A tipi binalar riskli olarak değerlendirilmektedir. Bölüm C2.6'da, yangını engellemek amacıyla dış duvarlardaki açıklıkların düşey olarak ayrılması ile alakalı kurallar belirlenmiştir. A Tipi konstrüksiyonlu bir binada, bir dış duvardaki açıklığın herhangi bir kısmı, alt kattaki başka bir açıklığın üzerindeyse, spandreller bölgeleren az 900 mm yüksekliğinde ve ara kat mesafesinin en az 600 mm üsttünde mesafesinde konumlandırılmalı. Bu spandrel bölgedeki boşluk, yapısal yeterlilik, bütünlük ve

yalıtım kapsamında yangın yalıtım derecesi 60 dakikadan az olmayan ve yanıcı olmayan malzeme ile doldurulmuş olmalıdır (NCC, 2019).

Bir perde duvar veya panel duvarın arkasında boşluklara sahip olan yapılarda bulunan spandrel boşluklar, yangına ve dumana karşı sızdırmazlığını kaybetmeyen, termal genleşmeye ve duvarın yapısal hareketine dayanan ve yanıcı olmayan malzemelerle doldurulmalıdır. (NCC, 2019).

Yönetmelikte hava boşluğuna uygulanacak yangın bariyerleri ile alakalı bölüm C2.6, C1.13 ve C3.16'ya göre, bir giydirme cephe veya panel duvarın arkasında, boşluklar yangına ve dumana karşı sızdırmazlığını kaybetmeden ısıl genleşmeye ve duvarın yapısal hareketine dayanacak yanmaz bir malzeme ile doldurulmalıdır. Bütünlük ve yalıtım açısından yangına dayanıklı olması gereken yapı elemanları içindeki ve arasındaki boşluklar AS 1530.4'e göre test edilmelidir (NCC, 2019).

Yönetmeliğin C1.13 bölümünde boşluk bariyerinin yangından korumalı ahşap yapılardaki gereklilikleri daha ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır. Yangına dayanıklı zemin/tavan düzenekleri ve yangına dayanıklı veya yanmaz duvarlar arasındaki bağlantı noktalarına bitişik gizli boşluklara, yangına dayanıklı duvarlar ile yangına dayanıklı veya yanmaz dış duvarlar arasındaki birleşim yerlerindeki bitişik gizli boşluklara, kapı ve pencere açıklıklarına boşluk bariyerleri yerleştirilmelidir. Bu konumlarda kullanılan boşluk bariyerlerine ek olarak, yangından korunan ahşap elemanların içindeki, etrafındaki veya bitişiğindeki duvar boşluklarında yatay ve düşey boşluk bariyerleri kullanılmalıdır. Yatay boşluk bariyerleri arasındaki mesafe 5 m'den, düşey boşluk bariyerleri arasındaki mesafe 10 m'den fazla olmayacak şekilde kullanılmalıdır (NCC, 2019).

Boşluk bariyerleri monte edildiği elemanların en yüksek yangın dayanımına dayalı olarak tablo 3.4'de belirtilen performansları elde etmelidir (NCC, 2019).

Tablo 3.4 Boşluk bariyeri yangın dayanım gerekliliği (NCC, 2019)

Sistemin yangına dayanım gerekliliği	**-/60/60 veya -/90/90**	**-/120/120,-/180/180 veya -/240/240**
Boşluk bariyerinin yangına dayanım gerekliliği	-/45/45	-/60/60

Yönetmelik bölüm C1.9'a göre, A veya B tipi bir yapıda, dış duvarlar ve ortak duvarlar, cephe kaplaması, yalıtım malzemeleri ve bunların contaları, sızdırmazlık malzemeleri, derz dolgu malzemesi gibi bileşenleri yanmaz olmalıdır. Yanıcı olmayan bir malzemenin gerekli olduğu her yerde alçı levha, normal kağıt kaplamalı delikli alçı çıta, elyaflı sıva levhası, elyaf takviyeli çimento kaplama kullanılabilmektedir. Metal kaplamalar ise, kalınlığı 1 mm'yi geçmeyen, yanıcı yüzey kaplamasına sahip olmayan ve alev yayılma indeksi 0'dan büyük olmayan malzemeler seçilmelidir. Kalınlığı 1 mm'yi geçmeyen ve yanıcılık indeksi 5'ten büyük olmayan sarkma tipi malzemeler, ve her tabakası yanmaz olan alev yayılım indeksi 3'ü geçmeyen yapıştırılmış lamine malzemeler yanıcı olmayan malzemeler kapsamında kullanılabilmektedir (NCC, 2019).

3.5 İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29)

İsveç yangın yönetmeliği (BRR), binalarda yangına dayanımlı olması gereken yapı elemanlarının, kuralcı veya performansa dayalı tasarım yöntemleriyle tasarlanması, geliştirilmesi ve doğrulanması gerektiğini belirtmektedir (BRR 29, 2021).

BBR, binanın kullanıcı sayısına ve kullanım amacına bağlı olarak sınıflandırılmasına ilişkin hükümler içermektedir. Bu sınıflandırma insanların bina ve tahliye prosedürleri hakkında ne derece bilgiye sahip olduğuna, yardım gerekmeden tahliye işleminin gerçekleştirilebilirliğine, uyku riskinin olup olmadığına, bir yangının meydana gelme ve hızla yayılma riskinin yüksek olup olmadığına göre yapılmaktadır (Tablo 3.5). Bu sınıflandırmanın yanı sıra binanın korunma ihtiyacına göre belirlenen yapı sınıfları da bulunmaktadır. Bina sınıflarına ilişkin genel önerilerin açıklaması ise tablo 3.6'da yer almaktadır (BRR 29, 2021).

Tablo 3.5 BBR yönetmeliği inşaat sınıflarının genel tanımı (BRR 29, 2021)

Doluluk Sınıfı	Açıklama	Bina Tipleri
1	Bina kullanıcılarının binayı iyi tanıdığı ve yardım almadan tahliyenin gerçekleşebildiği ve uyku riskinin olmadığı alanları içerir.	Endüstriyel binalar, depolar ve ofisler
2	Bina kullanıcılarının binayı iyi tanıdığı, yardım almadan tahliyenin gerçekleşebildiği ve uyanık olmalarının muhtemel olduğu toplanma alanları ve binaları içerir. Kişilerin yoğunluğuna ve tesiste alkol servis edilip edilmediğine bağlı olarak alt sınıflara ayrılır.	Okullar, mağazalar, sağlık merkezleri, konferans merkezleri, oditoryumlar, sinemalar, konferans salonları, restoranlar, spor salonları, satış tesisleri, tiyatrolar, konser salonları, gece kulüpleri.
3	Bina kullanıcılarının binayı iyi tanımalarının muhtemel olduğu ve yardım almadan tahliyenin gerçekleşebildiğive uyku riskinin olduğu meskenleri içerir.	Aileler için çok konutlu bloklar, müstakil evler, korunaklı konutlar, bakım evleri ve gündüz bakım merkezleri.
4	Bina kullanıcılarının binayı iyi tanıma ihtimallerinin düşük olduğu, ancak kendilerini güvende hissetme yeteneğine sahip olduğu ve uyanık olduğunun varsayılamayacağı alanları içerir.	Oteller, pansiyonlar, pansiyonlar ve diğer geçici konaklama türleri.
5	Bina kullanıcılarının yardım almadan tahliyenin gerçekleşmesinin sınırlı olduğu veya hiç olmadığı alanları içerir. Alan içindeki bakım veya tedavinin türüne veya kişilerin gözaltında tutulup tutulmadığına bağlı olarak ayrılır.	Anaokulları, akıl hastaneleri, hastaneler ve cezaevleri.
6	Yangın çıkma olasılığı yüksek olan veya yangının hızla büyüyüp yayılabileceği alanları içerir. Yanıcı ve patlayıcı maddelereilişkin düzenlemelerin BBR'ye dahil olmadığına dikkat edilmelidir.	Yüksek derecede yanıcı maddelerin üretildiği ve işlendiği alanlar, değirmenler, kağıt fabrikaları, tarıma yönelik üretim binaları ve profesyonel ağaç işleme tesisleri.

Tablo 3.6 BBR yönetmeliği yapı sınıflarının genel tanımı (BRR 29, 2021)

Yapı Sınıfları	Tanım	Genel Öneriler
Br0	Koruma ihtiyacı çok yüksek olan binalar.	16 kattan fazla olan binalar, hastaneler ve cezaevleri gibi yapı kullanım sınıfı 5'in belirli alt sınıfları ve yüksek kullanıcı yükü olan yapı kullanım sınıfı 2'nin belirli alt sınıfları.
Br1	Yüksek koruma ihtiyacı olan binalar.	İki katlı binalar, kullanım sınıfı 4 ve bir ölçüde kullanım sınıfı 5'tir. Ayrıca, kullanım sınıfı 2'de yer alan bazı mekanlarda toplanma alanı ikinci kattadır.
Br2	Orta derecede koruma ihtiyacı olan binalar	Zemin katta 2. sınıf belirli mekanları olan, alanları belli bir sınırı aşan ve yangın hücresi olarak bölünmemiş iki katlı binalar.
Br3	Düşük koruma ihtiyacı olan binalar	Genel tavsiyelerde belirtilmeyen diğer binalar.

Br1, Br2 ve Br3 olarak sınıflandırılan binaların tümü, BBR'de açıklanan kuralcı tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanmaktadır ancak Br0 olarak sınıflandırılan binalar için performansa dayalı tasarım yöntemi gerekmektedir (BRR 29, 2021).

Yönetmelikte Bölüm 5.4'e göre, binalar ve sabit tesisler, yangın oluşumuna karşı yeterli koruma sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yanıcı malzemeden yapılmış yakındaki bina parçalarının ve sabit döşemelerin yüzeyindeki sıcaklık, malzemenin tutuşabileceği kadar yüksek olmamalıdır. Bu durumda Bölüm 5.5'de duvarlarda kullanılan malzemelerin, zor tutuşan, yangının hızla yayılmasına katkıda bulunmayan, hızlı bir şekilde büyük miktarlarda ısı veya duman çıkarmayan, küçük çaplı yangına maruz kalma durumunda tehlike oluşturacak şekilde deforme olmayan, yaralanma riskini arttıracak şekilde düşmeyen veya başka şekilde form değiştirmeyen, yangın kaynağının yakın çevresi dışında erimeyen ve damlamayan özelliklere sahip olmalıdır (BRR 29, 2021).

Malzeme gereksinimlerinin seviyesi, binada oluşmasına izin verilebilecek ısı ve duman miktarına bağlıdır. Yangın sınıfı D-s2, d0'dan daha düşük olan malzemeler, yangının ilk aşamasında yangının etkilerine karşı korunmalıdır. Sınıfı 3, 4 ve 5 olan bina ve meskenlerde, yapı bölümlerindeki bu tür malzemeler yangın teknik sınıfı B-s1, d0 olan kaplama ile korunmalıdır. Korunması gereken malzemelere örnek olarak, D-s2, d0'dan daha düşük yangın teknik sınıfındaki yanıcı yalıtım, levha malzemesi veya benzeri verilebilir. Daha küçük binalar ve daha kolay kaçış sağlayan yerleşime sahip binalar için (Br2, Br3) kullanılan malzemenin yangına tepki sınıfı D-s2, d2 gerekliliklerini karşılaması gerekmektedir. Daha kapsamlı gerekliliklere sahip olan binalarda ise daha yüksek gereksinimler talep edilmektedir (BRR 29, 2021).

Br1 yapı sınıfındaki binaların dış duvarlarında, duvar içindeki yangının yayılma riskinin, yangının cephe yüzeyine yayılma riskinin ve dış duvardan düşen parçalar nedeniyle yaralanma riskinin sınırlı olması talep edilmektedir. Bu hükümlerin karşılanması için dış duvarlarda en az yangın tepki sınıfı A2-s1-d0 olmalı veya duvarın içindeki bir yangının ayırıcı yapıyı geçmesi önlenecek şekilde ayrılmalıdır. Duvar yüzey tabakası ise en az yangın sınıfı C-s2, d0 olmalıdır. Ancak alternatif olarak en düşük D-s2, d2 yangın sınıfında bir cephe kaplaması ile;

1-Binanın en fazla iki katlı olması yada,

2- Binanın en fazla sekiz katlı olması ve otomatik söndürme sistemi ile donatılması ve zemin kattaki cephe yüzeyinin en az A2-s1, d0 yangın sınıfı malzemeden yapılmış olması yada,

3-Binanın en fazla sekiz katlı olması ve en düşük D-s2, d2 sınıfı yanıcı malzeme cephe yüzeyinin sınırlı bir kısmını kaplıyor olması

koşullarından birisi karşılanırsa Br1 yapı sınıfı için gereksinimler karşılanabilmektedir (BRR 29, 2021).

Dış duvarlar, cam kırıkları, küçük sıva parçaları ve benzeri gibi bina parçalarının düşme riskini sınırlayacak şekilde tasarlanmalıdır. SP FIRE 105 test standartlarında geçen dış duvar konstrüksiyonu, yönetmeliğin; duvarın içindeki yangının yayılmasının sınırlı olması, yangının cephe yüzeyine yayılma riskinin sınırlı olması ve dış duvarın düşen parçaları nedeniyle yaralanma riskinin sınırlı olması kullarını karşılamaktadır. Sekiz kattan fazla olmayan binaların dış duvarları için (BRR 29, 2021);

a) cephenin büyük parçaları düşmemesi (paneller, sıva parçaları gibi büyük parçalar),

b) yangının yüzey kaplamasında ve duvarın içinde yayılması, yangın odasının iki kat yukarısındaki pencerenin alt sınırında kalması ile sınırlıdır ve,

c) yangın odasının iki kat yukarısındaki pencerenin üzerinde bulunan saçakları tutuşturabilecek hiçbir dış alev görülmemelidir. Eşdeğer bir kriter olarak, saçakların hemen altındaki gaz sıcaklığının sürekli olarak 2 dakikadan fazla 500 °C'yi veya 10 dakikadan fazla 450 °C'yi geçmemesi gerekmektedir (BRR 29, 2021).

SP FIRE 105'e göre eşdeğer bir kriter olarak, yangın odasının üzerindeki katta pencerenin ortasında cepheye doğru toplam ısı akışının 80 kW/m2'yi geçmemesi gerekmektedir (BRR 29, 2021).

Yüksek katlı binalarda geniş çaplı yangın yayılımını sınırlamak için, yangın hücreleri, yangın bölmeleri, yangın tesisatları veya bunların kombinasyonları ile

tasarlanmalıdır. Yangın yayılma riskini değerlendirirken, yangın yükü dikkate alınmalıdır (BRR 29, 2021).

3.6 Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)

Amerika Birleşik Devletleri, ulusal yangın koruma birliğinin yayınlamış olduğu NFPA 5000 bina yapımı ve güvenlik yönetmeliği cepheleri yangın güvenliği kapsamında ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır.

NFPA 5000 yönetmeliğinin kullandığı bina sınıflandırması, beş farklı yapım tipine göre ayrılmıştır (Tablo 3.7) (NFPA 5000, 2021).

Tablo 3.7 NPFA 5000 yönetmeliği bina sınıflandırması (NFPA 5000, 2021)

Bina Sınıfı	Açıklama
Tip I	Yangın direnimli binaları kapsamaktadır. Yapı elamanları yangının olası etkilerine karşı direnim gösteren ve dış duvarları 2-3 saat arasında yangın direncine sahip olan binalardır.
Tip II	Tip I kadar yangın direncinde yüksek performans göstermeyen yapılardır. Yeni ve ticari binaları kapsamaktadır. Duvar ve çatılarda yanmaz malzeme kullanımı istenmektedir.
Tip III	Dış duvarlarda yanıcı olmayan ve en az 2 saat yangın direnimi gösteren malzeme istenmektedir.
Tip IV	Dış duvarlarda yanmaz malzeme, iç mekânda ise boşluksuz masif veya lamine ahşap kullanıldığı binalardır.
Tip V	Duvar, döşeme ve çatıların tamamı veya bir kısmının ahşap olduğu binalardır.

Taşıyıcı olmayan dış duvarlarda istenilen yangın dayanım süreleri ise binalar arasındaki mesafeye ve binanın kullanım sınıfına göre belirlenmektedir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8 NFPA 5000 kapsamında dış duvar yangın dayanım süreleri (saat) (NFPA 5000, 2021)

Bina Kullanım Sınıfı	Yatay Uzaklık			
	0-1,5 m arası	1,5 – 3m arası	3-9 m arası	9 m'den fazla
Toplanma amaçlı binalar, sağlık binaları, gözaltı ve ıslah evleri, eğitim binaları, ofis binaları konutlar, iş yerleri, düşük tehlikeli endüstriyel binalar ve depolar	1	1	0	0
Ticari amaçlı binalar, orta tehlikeli endüstriyel binalar ve depolar	2	1	0	0
Yüksek tehlikeli endüstriyel binalar ve depolar (Korunumlu seviye 1, seviye 2, seviye 3, Bölüm 34.1.3)	Seviyelerin kullanıldığı binalar kullanım sınıflarına göre değişiklik göstermektedir.			
Yüksek tehlikeli endüstriyel binalar ve depo binaları (Korunumlu seviye 4, seviye 5, Bölüm 34.1.3)	3	2	1	0

Bir giydirme duvar düzeneği, alev ve sıcak gazların bir kattan diğerine düşey yönde ilerleyişini kısıtlayacak şekilde inşa edilmelidir. Yangın bariyeri olması gereken döşeme tertibatları, kaplamaya kadar uzanmalı ve sızdırmaz olmalıdır. Yangına dayanıklı zemin veya zemin/tavan tertibatlarının gerekli olduğu durumda, dış giydirme duvar tertibatları ile bu tür zemin veya zemin/tavan arasındaki kesişme noktalarında oluşan boşluklar onaylı malzemeler ile kapatılmalıdır. Giydirme cephenin spandrel bölümleri için yükseklik ve yangına dayanıklılık gereklilikleri, madde 37.1.4'e uygun olmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Madde 37.1.4'te dış duvarlardaki açıklıkların yangın yayılımına etkisinin sınırlandırılması için gerekli kurallar belirtmiştir. Dört veya daha fazla katlı, sprinkler sistem ile korunmayan ve yatay olarak birbirinden 1525 mm mesafede bulunan binalarda bulunan açıklıklar diğer katın açıklıklarından ayrılmalıdır. Bu açıklıklar, 1 saat yangına dayanıklı düşey yönde 915 mm spandrel bir bölge ile veya yatay olarak 1 saat yangına dayanıklılık derecesine sahip 760 mm genişlikte bir yatay bariyer ile ayrılmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelik madde 7.3'e göre dış duvarlar aksi belirtilmedikçe yangına dayanıklı yatay ayırıcılar ile temelden çatının 760 mm aşağısına kadar dış duvarın yangına dayanım prensibine uygun olacak şekilde ayrılmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Cephe malzemelerinin yanıcılık sınıflandırılması NFPA 285 test standardına göre kontrol edilmektedir. Yönetmelik kapsamında dış duvarda kullanılan malzemelere yönelik özel gereksinimler bulunmaktadır Dış cephenin yangın dayanımı ile ilgili kurallar bölüm 37'de bulunmaktadır. Yapıda kullanılacak malzemeler için ise, bölüm 37'den ayrı olarak bölüm 41 ile 48 arasında farklı başlıklar altındada bahsedilmektedir (NFPA 5000, 2021).

Madde 37.4 kapsamında cephe kaplama malzemesi olarak metal kompozit malzeme (MCM) incelenmiştir. MCM dış duvarlara monte edildiğinde minimum dış kaplama kalınlığı 0,5 mm, minimum iç kaplama kalınlığı 0,25 mm ve maksimum panel kalınlığı 6,3 mm olmalıdır. Bu kaplama malzemesinin Tip I, Tip II, Tip III veya Tip IV binalarının cephesinde kullanımına izin verilmektedir. Ancak MCM kaplama malzemesi takılı olduğu dış duvarın gerekli yangına dayanıklılık derecesini azaltmamalıdır. Dış duvar tertibatının bir parçası olan MCM, NFPA 285'e uygun olarak, kullanılması amaçlanan maksimum panel kalınlığı kullanılarak test edilmeli

ve burada belirtilen kabul koşullarını karşılamalıdır. MCM, bir ısı bariyeri ile bina içinden tamamen ayrılmalıdır. Test edilen MCM paneller amaçlanan kuruluma özgü ek yerleri, bağlantı elemanları ve diğer yapı detaylarını içerecek şekilde bir düzenekte test edilmelidir (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelikte madde 37.4.5'e göre, yüksekliği en fazla 12m'ye kadar olan tip I, tip II, tip III ve tip IV binalarının arasındaki sınır mesafesi 1,525 m'den küçük ise MCM cephe kaplama paneli dış duvarın %10'undan fazlasını kaplamayacaktır. Binalar arasındaki sınır mesafesi 1,525 m'den daha büyük ise, malzemenin dış duvarda kapladığı alan kısıtlanmamaktadır (NFPA 5000, 2021).

Yüksekliği en fazla 15m'ye kadar olan tip I, tip II, tip III ve tip IV binalarda ise düşey düzlemde birbirine temas eden MCM panel uzunluklarının 12,20 m'den az olmaması ve alanının 27,8 m^2'yi aşmaması gerekmektedir. Aynı zamanda kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343 °C'den yüksek olmamalıdır. UL 723 ve ASTM E84 test metotlarına göre ise yanıcılık özelliği sınıf B olmalıdır. Alev yayılma indeksi 75'ten küçük olmalı ve duman büyüme indeksi ise 450'den küçük olmalıdır. Bu bina tiplerinde tüm yükseklikler için ise NFPA 285 deney standardına uymalıdır (NFPA 5000, 2021).

Tüm yükseklikler için tip V olarak sınıflandırılan binaların dış duvarlarına monte edilen MCM, kullanılması amaçlanan maksimum kalınlığa dayalı olarak UL 723 ve ASTM E84 test metotlarına göre ise yanıcılık özelliği sınıf B olmalıdır. Alev yayılma indeksi 75'ten küçük olmalı ve duman büyüme indeksi ise 450'den küçük olmalıdır. MCM'nin plastik köpük yalıtım içeren bir dış duvar sistemine dahil olduğu durumlarda, dış duvar Bölüm 48.4'ün gerekliliklerine uygun olmalıdır. Toplam kalınlığı 6,4 mm'ye eşit veya daha az olan, en az 0,5 mm'lik bir alüminyum kaplamaya sahip panellerin, bina inşaatı sırasında köpük plastik çekirdeğin açığa çıkmaması durumunda bir montaj olarak test edilmesine izin verilecektir (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelikteki bölüm 48'de plastik malzemelerin kullanım yerlerine göre çeşitliliği ve yangın dayanım kuralları belirlenmiştir. Madde 48.3'e göre plastik köpük yalıtım malzemeleri tip I, tip II, tip III, tip IV bina sınıflarında kullanılacak ise UL 723 ve ASTM E84 test standartları ile incelenmelidir. Alev yayılım indeksi en fazla 25, duman gelişim indeksi ise 450 olmalıdır. Alevlenme noktaları ve kendiliğinden

tutuşma sıcaklıkları ise ASTM D1929 test standardına göre 316°C ve 427°C'den düşük olmamalıdır (NFPA 5000, 2021).

Dış duvarda kullanılan plastik köpük yalıtım malzemesinin ateşleme özelliğinin belirlenmesi için test yapılması gerekmektedir. Malzeme, yapıya birden fazla kalınlıkta monte edilecek ise minimum ve maksimum kalınlık değerlendirmeye alınmalıdır. Dış duvar, NFPA 268'e göre test edildiğinde sürekli alevlenme göstermemesi gerekmektedir. Ancak madde 48.4.1.8'e göre, plastik köpük yalıtım malzemesi; yanmazlık gereksinimlerini karşılayan bir termal bariyer, minimum 9,5 mm kalınlığında cam elyaf takviyeli beton paneller, en az 22 mm kalınlığında portland çimento sıvası, en az 0,48 mm alüminyum panel, en az 0,4 mm kalınlığında korozyona dayanıklı çelik paneller veya asgari kalınlığı 25 mm olan beton duvarlar ile kaplandığında test istenmemektedir (NFPA 5000, 2021).

Plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin yapının içi ve asma tavan boşluklarında kullanılabilmesi için kullanıldığı bölümde teması engellemek amacıyla ısı bariyerleri ile birlikte kullanılmalıdır. Isı bariyerinin kullanım uygunluğunun anlaşılabilmesi için NFPA 275'e göre 15 dakika boyunca plastik esaslı köpük yalıtım malzemesi ile birlikte test edilmelidir.Aynı zamanda yönetmelik ısı bariyeri için 13 mm kalınlığında alçı levhanın kabul görebileceğini belirtmektedir. (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelikteki bölüm 45'te ahşap malzemenin çeşitlerinden bahsedilip, yangın dayanım kuralları belirlenmiştir. Yangına direnimli olacak şekilde işlem görmüş ahşap malzemeler UL 723 ve ASTM E84 test standartları kapsamında değerlendirilmelidir. Bu test standartlarına göre yangın duvarlarında kullanılan ahşap malzemenin alev yayılma indeksi 25'ten daha az, duman yayılma indeksi ise 450'den daha az olmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelikte, yalıtım malzemeleri için alev yayılma standartları madde 8.16'ya uygun olmalıdır. Buhar bariyerleri, havalandırma kâğıdı, kaplamalar ve çok katmanlı yansıtıcı folyo yalıtımların her katmanı dahil olmak üzere yalıtım malzemeleri, madde 8.16'nın gereksinimlerine uygun olmalıdır.
Bir alev yayılma indeksi veya bir duman geliştirme indeksi belirtildiğinde, bu indeks ASTM E84, Yapı Malzemelerinin Yüzey Yanma Karakteristiklerinin Standart Test Yöntemi veya UL 723, Yüzey Yanma Karakteristiklerinin Testi gerekliliklerine göre belirlenmelidir (NFPA 5000, 2021).

Yansıtıcı yalıtım malzemeleri ASTM E84 veya UL 723'e göre değerlendirildiğinde, numune hazırlama ve montaj ASTM E2599'a uygun olmalıdır. Yağışın, nemin veya diğer atmosferik koşulların etkisiyle alev yayılma derecesinde veya duman geliştirme indeksinde burada belirlenen sınırların ötesinde bir artışa maruz kalan herhangi bir malzemeye izin verilmemektedir. Yalıtım malzemeleri binaya gizlenerek döşendiğinde, yalıtım malzemelerinin alev yayma indeksi 75'i ve duman geliştirme indeksi 450'yi geçmemelidir (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelikte dış duvarlarda düşey ve yatay alev yayılımını kapsayan madde 37.1.5'e göre, Tip I, Tip II, Tip III, Tip IV konstrüksiyonlu binalarda, zemin kot düzleminden yüksekliği 12,192 m'den fazla olan ve yanıcı malzemeler içeren dış duvar tertibatları, NFPA 285'e göre test edilmeli ve kabul koşullarını karşılamalıdır. Ancak cephe sisteminde suya dayanıklı bariyerin tek yanıcı bileşen olduğu durumlarda dış duvar tertibatlarının Bölüm 37.1.5'e göre test edilmesi gerekmemektedir. Tablo 37.1.5.2'ye göre minimum kalınlıkta bir duvar (tuğla dahil) beton, taş, pişmiş toprak, sıva veya korozyona dayanıklı çelikten bir kaplamaya sahip ise suya dayanıklı bariyerin test edilmesi gerekmemektedir (NFPA 5000, 2021).

ASTM E1354 test standartına göre, suya dayanıklı bariyerin tepe ısı yayma oranı 150 kW/m2'den az, toplam ısı salımı 20 mJ/m^2'den az ve etkin yanma ısısı 18 mJ/kg'dan az olmalıdır. ASTM E84 veya UL 723, test standartlarında belirlenen şekilde, suya dayanıklı bariyerin alev yayılma indeksi 25 veya daha az ve duman geliştirme indeksi 450 veya daha az olmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Hava koşullarına maruz kalan tüm duvarlar, yapıyı korumak için hava koşullarına dayanıklı bir bariyere sahip olmalıdır. Açıkta kalan duvar zarfı, dış kaplamanın arkasında suya dirençli bir bariyer sağlayarak duvar düzeneği içinde su birikmesini önleyecek şekilde tasarlanmalı ve yapılmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Yönetmelik bölüm 46'a göre, yangına dayanıklı camlar, yangın bariyerlerinin bulunduğu noktalarda uygun koruma derecesine sahip ve onaylanmış şekilde olmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Madde 8.11'de duman bariyerleri ile ilgili yangın dayanım kuralları belirtilmiştir. Bu maddeye göre, dış duvarlarda dumanın hareketini kısıtlamak amacıyla duman

bariyerleri kullanılmalıdır. Yönetmeliğin gerektirdiği duman bariyerleri, bir dış duvardan bir dış duvara, bir kat döşemesinden diğer bir kat döşemesine veya bir duman bariyerinden diğer bir duman bariyerine veya bunların bir kombinasyonu şeklinde sürekli olmalıdır. Duman bariyerinin gereksinimlerinin karşılanması koşuluyla, bir yangın bariyerinin duman bariyeri olarak kullanılmasına izin verilmektedir (NFPA 5000, 2021).

Madde 8.9'da malzemelerin bağlantı noktaları ile alakalı yangın dayanım kuralları belirtilmiştir. Duman bariyerlerinin içinde, arasında veya çevresinde olan derzler, hava kaçağı için UL 2079, Bina Derz Sisteminin Yangına Direnç Testi gerekliliklerine göre test edilen listelenmiş bir derz sistemi ile korunmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Madde 8.9.3'e göre, katlardaki düşey yöndeki açıklıklarda bulunan duvarlar yangın bariyerleri ile çevrelenmeli, bu bariyerler kattan kata veya kattan çatıya sürekli olmalı ve bariyerin yangına dayanıklılık derecesine uygun şekilde korunmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Alev yayılma indeksi 25'ten büyük olan yapı malzemelerinin bulunduğu herhangi bir gizli mahalde hava akımı, her dış duvar, bölme, her kat seviyesinde, en üst kat tavan seviyesinde ve çatı desteği seviyesinde yangın durdurucu yerleştirilmelidir. Yangın durdurucu malzemeler, en az 13 mm kalınlığında alçı levha, 12 mm kalınlığında ahşap yapısal panel veya yeterince desteklenen diğer onaylı malzemelerden olmalıdır. Tüm yangın durdurucuların bütünlüğü korunmalıdır (NFPA 5000, 2021).

Tip I veya Tip II binalarının yanıcı mekanik, tesisat ve elektrik bileşenlerinin bulunduğu gizli alanlar, yanmaz veya sınırlı yanıcı malzemelerden yapılması gereken bölgelerdir. Bu bölgelerde kullanılan malzemelerin yanma indeksi maksimum 25 olmalı ve yürürlükteki yasaya uygun olarak monte edilmelidir (NFPA 5000, 2021).

Çalışma kapsamında incelenen yönetmeliklerden elde edinilen bilgiler; cephelerin taşıması gereken kurallar, cephe kaplama malzemeleri, yangın bariyerleri, hava boşlukları, yalıtım malzemeleri, cephe açıklıkları, binalar arası mesafeleri ana başlıkları altında Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11, Tablo 3.12, Tablo 3.13, Tablo 3.14 de yer almaktadır.

Tablo 3.9 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde iki bina arasında bulunan ortak sınır mesafesi kapsamında cephelerin uyması gereken kurallar

Yönetmelikler	1- İki Bina Arasında Bulunan Ortak Sınır Mesafesi Kapsamında Cephelerin Uyması Gereken Kurallar
İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B)	Tüm cephe malzemeleri için ortak bir değerlendirmede bulunulmamıştır. Yalıtım, kaplama vb. malzemeler üzeriden malzeme çeşitliliğine göre istenilen yangın sınıfı belirlenmiştir.
Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)	Tüm cephenin yangına dayanım süreleri binanın kullanım sınıfına, iki bina arasında bulunan ortak sınır mesafesine yakınlığına ve yapının yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. **a)** Dış cephelerin, bina yüksekliği 28.50 m'den fazla olan binalarda zor yanıcı (A2 – s1, d0) malzemeden ve diğer binalarda ise en az zor alevlenici (B, C – s1, d0, A2 – s2, d0, A2, B, C – s3, d0, A2, B, C – s1, d1, A2, B, C – s1, d2) malzemeden olması gerekmektedir. **b)** Derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemli binalarda kullanılan cephe malzemeleri en az zor yanıcı olmalıdır. **c)** Tüm dış cephelerin (balkon, çıkma, baca, teras ve benzerleri dâhil); hiç yanmaz malzemeden olması, kapı ve pencere doğramalarının hiç yanmaz malzemeden olması ve en az 30 dakika yangına dayanıklı olması, kapı ve pencerelerde asgari çift cam kullanılması veya kullanılacak camın kırılmaz ya da 30 dakika yangına dayanıklı olması gerekmektedir. **d)** Binaya 15 m'den daha yakın eklentilerin dış cephelerinin de hiç yanmaz malzemeden veya en az 30 dakika yangına dayanıklı malzemeden olması istenmektedir.
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	**a)** Yapının cephesinden yapının arazi sınırına kadar olan mesafe 0 ile 3 m arasında, toplanma, iş, eğitim, sağlık, otel, konut, hafif tehlike içeren endüstriyel yapılarda 1 saat yangına dayanım istenmektedir. **b)** Ticari, orta tehlike içeren endüstriyel yapılarda 0 m ile 1,5 m arası sınır mesafesinde cephelerde 2 saat yangın dayanımı istenmektedir. Sınır mesafesi 1,5 m ile 3 m arasında ise 1 saat yangına dayanım istenmektedir. Bu yapılar için 3 m'den sonra herhangi bir gereklilik mevcut değildir. **c)** Ağır tehlikeli endüstriyel yapılarda ise 0 m ile 1,5 m arasında 3 saat, 1,5 m ile 3 m arasında 2 saat, 3 m ile 9 m arasında ise 1 saat yangına dayanım istenmektedir. 9 m'den büyük mesafeler için ise herhangi bir gereklilik bulunmamaktadır.
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	**a)** A tipi yapılarda sınır mesafesi 1,5 m'den az ise 90 dk yangına dayanımlı olmalıdır. Sınır mesafesi 1,5 m ile 5 m arasında ise 60 dk yangına dayanımlı olmalıdır. Sınır mesafesi 3 m'den fazla ise yangına dayanım derecesine gerek yoktur. **b)** B tipi yapılarda sınır mesafesi 1,5m'den az ise 2, 3, 4 sınıfına ait yapılarda 90 dk yangına dayanım olmalıdır. 5, 7a ve 9 sınıfına ait yapılarda 120 dk yangına dayanım olmalıdır. 6 sınıfına ait yaılarda 90dk yangına dayanım olmalıdır. 7b ve 8 sınıfına ait yapılarda 240 dk yangına dayanım olmalıdır. Sınır mesafesi 1,5 m ile 5 m arasında ise 2, 3 ve 4 sınıfına ait yapılarda, bütünlük 60 dk korunmalı ve yalıtım malzemesi 30 dk yangın dayanımına sahip olmalıdır.

Tablo 3.9 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde iki bina arasında bulunan ortak sınır mesafesi kapsamında cephelerin uyması gereken kurallar (devamı)

Yönetmelikler	1- İki Bina Arasında Bulunan Ortak Sınır Mesafesi Kapsamında Cephelerin Uyması Gereken Kurallar
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	**c)** 5, 7a ve 9 sınıfına ait yapılarda bütünlük 90 dakika korunmalı ve yalıtım 60 dk yangına dayanıma sahip olmalıdır. **d)** 6 sınıfına ait yapılarda ise bütünlük 120 dk korunmalı ve yalıtım 90 dk yangına dayanıma sahip olmalıdır. 7b ve 8 sınıfına ait olan yapılarda ise bütünlük 180 dakika korunmalı, yalıtım malzemesi 120 dk yangın dayanımına sahip olmalıdır. Sınır mesafesi 3 m'den fazla ise yangına dayanım derecesine gerek yoktur. **e)** Bitişik tahsislerdeki binalar arasında yangının yayılmasını önlemek için cephelerin birbirleri üzerine yayabilecekleri maksimum ısı akışları belirlenmiştir. Maksimum ısı akışı sınırda ise 80 kW/m^2, sınırdan 1 m uzaklıkta ise 40 kW/m^2, sınırdan 3 m uzaklıkta ise 20 kW/m^2, sınırdan 6 m uzaklıkta ise 10 kW/m^2 olmalıdır.
İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29)	**a)** Br1 yapı sınıfındaki dış duvarlar için en az yangın tepki sınıfı A2-s1-d0 olmalı veya duvar içindeki bir yangının ayırıcı yapıyı geçmesi önlenecek şekilde tasarlanmalıdır. **b)** Br2, Br3 yapı sınıfındaki binalarda kullanılan malzemenin yangına tepki sınıfı D-s2, d2 olmalıdır. **c)** Sekiz kattan fazla olan binalardaki dış duvarlar SP FIRE 105'e göre test edilirken eşdeğer bir kriter olarak, yangın odasının üzerindeki katta pencerenin ortasında cepheye doğru toplam ısı akışının 80 kW/m2'yi geçmemesi gerekmektedir. **d)** Sekiz kattan fazla olmayan binaların dış duvarları için saçakların hemen altındaki gaz sıcaklığı sürekli olarak 2 dakikadan fazla 500 °C'yi veya 10 dakikadan fazla 450 °C'yi geçmemelidir.
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	Taşıyıcı olmayan dış duvarlarda istenilen yangın dayanım süreleri, binalar arasındaki mesafeye ve binanın kullanım sınıfına göre belirlenmektedir. **a)** Toplanma amaçlı binalar, sağlık binaları, gözaltı ve ıslah evleri, eğitim binaları, ofis binaları, konutlar, iş yerleri, düşük tehlikeli endüstriyel binalar ve depoların cephelerindeki yangın dayanımı binalar arası yatay uzaklıklar 0 ila 3 m arasında ise 1 saat olmalıdır. Yatay uzaklık 3 ila 9 m arasında ise yangına dayanım gerekliliği mevcut değildir. 9 m'den fazla ise yangına dayanım gerekliliği yoktur. **b)** Ticari amaçlı binalar, orta tehlikeli endüstriyel binalar ve depoların cephelerindeki yangın dayanımı binalar arası yatay uzaklık 0 ila 1,5 m arasında ise 2 saat, sınır 1,5 ile 3 m arasında ise 1 saat olmalıdır. Yatay uzaklık 3 ila 9 m arasında ise yangına dayanım gerekliliği mevcut değildir. 9 m'den fazla ise yangına dayanım gerekliliği yoktur. **c)** Yüksek tehlikeli endüstriyel binalar ve depolar korunum seviyelerine göre ve bina sınıfına göre değişiklik göstermektedir. Korunum seviyesi 4 ve 5 olan yüksek tehlikeli endüstriyel binalar ve depo binalarının cephelerindeki yangın dayanımı binalar arası yatay uzaklık 0 ila 1,5 m arasında ise 3 saat olmalıdır. Yatay uzaklık 1,5 ila 3 m arasında ise yangına dayanım 2 saat olmalıdır. Sınır 3 ile 9 m'den fazla ise yangına dayanım 1 saat olmalıdır. 9 m'den fazla ise yangına dayanım gerekliliği yoktur.

Tablo 3.10 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe kaplama malzemelerinin değerlendirmesi

Yönetmelikler	2-Cephe Kaplama Malzemesi
İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B)	**a)** Tüm yeni binaların ve inşaat çalışmaları yapılan binaların dış duvarlarında yükseklik veya kullanımdan bağımsız olarak değiştirilmemiş polietilen çekirdekli metal kompozit malzeme kullanımı tamamen yasaktır. **b)** Yapı yüksekliği 11 metreden yüksek barınma içeren kuruluşlar, apartmanlar, konut içeren yapılarda (yükseklik max 18 m) dış duvarın dış yüzeyinde kullanılan cephe malzemesi ilgili sınır mesafesi farketmeksizin yangın sınıfı minimum A2-s1, d0 olmalıdır. **c)** Yapı yüksekliği zemin seviyesinden 18 m yükseklikte bir katı olan veya birden fazla mesken içeren veya bir kurum içeren veya ikamet amaçlı bir oda içeren yapılarda kullanılan cephe malzemesi ilgili sınır mesafesi farketmeksizin yangın sınıfı minimum A2-s1,d0 olmalıdır. **d)** Yapı yüksekliği 18 metrenin üstünde olan toplanma, eğlenme ve dinlenme amaçlı yapıların dış duvarın dış yüzeyinde kullanılan cephe malzemesi yangın sınıfı için, iki bina arasındaki sınır mesafesine 1 m'den daha az var ise minimum B-s3,d2 olmalıdır. İki bina arasındaki sınır mesafesi 1 m'den daha uzak ise zemin kattan 18 metreye kadar minimum C-s3,d2 olmalı, 18 m'den çatının bitiş noktasına kadar ise minimum B-s3,d2 olmalıdır. **e)** Yapı yüksekliği 18m'den yüksek ve sınır çizgisi 1m'den az olan diğer yapı tiplerinde cephe kaplama malzemesi yangın sınıfı minimum Class B-s3, d2 olmalıdır. Yapı sınırı 1 m'den fazla ise zemin kattan 18 m'ye kadar yangın sınıfı minimum C-s3, d2, 18 m'den sonrası için yangın sınıfı B-s3,d2 olmalıdır.
Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)	**a)** Yangına karşı güvenlik bakımından, kolay alevlenen yapı malzemelerinin inşaatta kullanılmasına müsaade edilmemektedir. Kolay alevlenen yapı malzemeleri, ancak, bir kompozit içinde normal alevlenen malzemeye dönüştürülerek kullanılabilir. **b)** Test edilmeye gerek olmayan A1 sınıfı kabul edilen malzemeler; genleşmiş kil, genleşmiş perlit, mineral yün, selüler cam, beton, gaz beton, çimento, elyaflı çimento, kireç, yüksek fırın cürufu, mineral agrega, demir, çelik, paslanmaz çelik, bakır, bakır alaşımları, çinko ve çinko alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları, kurşun, alçı, alçı bazlı sıvalar, inorganik bağlayıcı elemanları olan harçlar, killi malzemeler, kalsiyum silikat birimler, doğaltaş, arduvaz birimleri, alçı birimler, çimento mozaik, cam, cam seramik, seramik şeklinde belirtilmiştir.
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	**a)** Cephe ve dış duvar montajında kullanılan sandviç paneller dışındaki metal kompozit panellerin (MCM) ve alüminyum kompozit panellerin (ACP), minimum dış kaplama kalınlığı 0,5 mm, minimum iç kaplama kalınlığı 0,25 mm ve maksimum panel kalınlığı 6,3 mm olmalıdır. MCM'de kullanılan çekirdek, alev ve duman yayma özelliklerine sahip plastik, mineral veya köpük plastik yalıtım dışındaki herhangi bir malzemeden olmalıdır. Bu panellerin çekirdek malzemesi, köpük plastik yalıtım, LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) veya yoğunluğu 320 kg/m^3'ten az olan herhangi bir genleşmiş plastik olmamalıdır.

Tablo 3.10 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe kaplama malzemelerinin değerlendirmesi (devamı)

Yönetmelikler	2-Cephe Kaplama Malzemesi
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	**b)** MCM ve ACP panellerinde kullanılacak olan çekirdek malzemesi kaplama malzemesinden ayrı bir şekilde EN 13501-1 ve ASTM D1929 test standartlarına göre test edilmelidir. Panel ise çekirdek malzemesinden ayrı bir şekilde, EN 13501-1 ve ASTM D1929 test standartlarında bulunan kalınlıklar göz önüne alınarak test edilmelidir. **c)** Yangına direnimsiz ve yük taşımayan dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerin Tablo 1.14.a'ya göre çok yüksek ve yüksek binalarda, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplanma binalarında çekirdek ve panel ürünleri minimum A2-s1-d0 olmalı, tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. **d)** Alçak binalar, orta yükseklikte binalar, depo ve endüstriyel binalarda ise minimum B-s1-d0 sınıfı olmalı ve tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Aynı zamanda bu yapı tiplerinde kullanılacak MCM ve ACP paneller bütün bir şekilde duvara monte edilerek BS8414-1, BRE 135, NFPA 285, FM 4881, ISO 13785-2 testlerinin herhangi birine göre test edilmeli ve geçti belgesi alınmalıdır. Bu şartlara sahip olan plastik veya mineral çekirdek malzemeler kullanılabilmektedir. **e)** Yangına direnimli dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerininin çekirdek ve panel ürünleri birbirinden ayrı şekilde binanın yükseklikliği, kullanıcı sayısı ve türü farketmeksizin minimum A1 veya A2-s1-d0 olması, tutuşma sıcaklığı 343 °C'nin altında olması gerekmektedir. Ancak bu yapı tipleri MCM ve ACP panellerinin panel ve çekirdek malzemesi bütün bir şekilde duvara monte edilmiş hali ile test edildiğinde 1 saat, 2 saat veya 3 saat yangına direnim oranı istenmektedir. **f)** MCM ve ACP kaplama malzemeleri, binanın içinden ve asma tavanlardaki havalandırma kısmından bir ısı bariyeriyle tamamen ayrılmalıdır. **g)** GRC/GRFC/GRP panel ürünleri, yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplama sistemi olarak kullanılıyor ise; çok yüksek ve yüksek binalarda, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplanma binalarında EN 13501-1 doğrultusunda sadece kaplama ürünü test edildiğinde minimum yangın sınıfı A veya A2-s1-d0 olmalıdır. ASTM D1929 test standardına göre test edildiğinde ise tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Düşük ve orta yükseklikte binalar, depo ve endüstriyel yapılarda ise bu test standartlarına göre kaplama ürününün minimum yangın sınıfı B-s1-d0 sınıfı olmalı ve tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Ancak bu kaplama panellerinin duvara montajlı bir şekilde test edildiği durumlarda BS 8414-1 veya 2, BRE 135, FM 4881, ISO 13785-2 test standartlarının herhangi birinden geçti kriterini tamamlaması gerekmektedir. **h)** Yangın dayanımlı ve yük taşımayan duvarların kaplama sistemi olarak kullanıldığında ise, GRC/GRFC, GRP kaplama panelleri EN 13501-1 doğrultusunda test edildiğinde minimum A veya A2-s1-d0 olmalıdır. ASTM D1929 test standardına göre test edildiğinde ise tutuşma sıcaklığı 343°C'nin altında olmamalıdır. Ancak bu kaplama panellerinin duvara montajlı bir şekilde test edildiği durumlarda malzeme ASTM E 119, UL 263, EN 1362-3, EN 1362-4 test standartlarının herhangi birine göre test edilmeli ve geçti kriterini tamamlamalıdır. Duvardan istenen yangın derecelendirilmesine göre 1 saat, 2 saat veya 3 saat yangına dayanım beklenmektedir.

Tablo 3.10 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe kaplama malzemelerinin değerlendirilmesi (devam)

Yönetmelikler	2-Cephe Kaplama Malzemesi
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	I) Dış cephelerde düşey yönde 15 m'den fazla uzunlukta kaplama malzemelerinin kullanımı kısıtlanmakta ve devam eden 6 m boyunca beton veya seramik gibi yanıcı özellikte olmayan kaplama malzemelerinin yangın kesici olarak kullanılması gerekmektedir.
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	A ve B tipi yapı sınıfında cephe malzemeleri yanmaz malzemeden olmalıdır. C tipi binalarda dış duvar yapımında ahşap yanıcı malzeme kullanılmamalıdır. Yönetmelikte cephe malzemelerinin yangın güvenliği kapsamında AS 5113 Binaların Dış Duvarlarının Yangın Yayılma Testi ve Sınıflandırılması deneyinin standartları kullanılmaktadır.
İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29)	**a)** Duvarlarda kullanılan malzemelerin, zor tutuşan, yangının hızla yayılmasına katkıda bulunmayan, hızlı bir şekilde büyük miktarlarda ısı veya duman oluşturmayan, küçük çaplı yangına maruz kalma durumunda tehlike oluşturacak şekilde deforme olmayan, yaralanma riskini arttıracak şekilde düşmeyen veya başka şekilde form değiştirmeyen, yangın kaynağının yakın çevresi dışında erimeyen ve damlamayan özelliklere sahip olmalıdır. **b)** Yangın sınıfı D-s2, d0'dan daha düşük olan malzemeler, yangının ilk aşamasında yangının etkilerine karşı korunmalıdır. Sınıfı 3, 4 ve 5 olan bina ve meskenlerde, yapı bölümlerindeki bu tür malzemeler yangın teknik sınıfı B-s1, d0 olan kaplama ile korunmalıdır. Korunması gereken malzemelere örnek olarak, D-s2, d0'dan daha düşük yangın teknik sınıfındaki yanıcı yalıtım, levha malzemesi veya benzeri verilebilir. **c)** Br1 yapı sınıfındaki binaların yüzey tabakası yangın sınıfı en az C-s2, d0 olmalıdır. Ancak alternatif olarak en düşük D-s2,d2 yangın sınıfında bir cephe kaplaması; bina iki katlıysa yada otomatik söndürme sistemi bulunan ve zemin kattaki cephe kaplama malzemesi A2-s1, d0 yangın sınıfına sahip en fazla sekiz katlı binalar veya D-s2,d2 sınıfı yanıcı malzeme yüzeyin sınırlı bir kısmını kaplayan en fazla sekiz katlı binalar kabul edilmektedir.
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	**a)** MCM dış duvarlara monte edildiğinde minimum dış kaplama kalınlığı 0,5 mm, minimum iç kaplama kalınlığı 0,25 mm ve maksimum panel kalınlığı 6,3 mm olmalıdır. Malzemenin takılı olduğu dış duvarın gerekli yangına dayanıklılık derecesini azaltmamalıdır. **b)** Alüminyum levhaların AA ASM 35 (Specifications for Alüminyum Sheet Metal Work) sartmanesine uyumlu olması gerekmektedir. **c)** Yüksekliği en fazla 12m'ye kadar olan tip I, tip II, tip III ve tip IV binalarının arasındaki sınır mesafesi 1,525 m'den küçük ise MCM cephe kaplama paneli dış duvarın %10'undan fazlasını kaplamayacaktır. Binalar arasındaki sınır mesafesi 1,525 m'den daha büyük ise, malzemenin dış duvarda kapladığı alan kısıtlanmamaktadır.

Tablo 3.10 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe kaplama malzemelerinin değerlendirilmesi (devam)

Yönetmelikler	2-Cephe Kaplama Malzemesi
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	**d)** Yüksekliği en fazla 15m'ye kadar olan tip I, tip II, tip III ve tip IV binalarda düşey düzlemde birbirine temas eden MCM panel uzunluklarının 12,20 m'den az olmaması ve alanı 27,8 m^2'yi aşmaması gerekmektedir. Aynı zamanda kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343°C'den yüksek olmamalıdır. Alev yayılma indeksi 75'ten küçük olmalı ve duman büyüme indeksi ise 450'den küçük olmalıdır. **e)** Tip I, tip II, tip III ve tip IV binalarında tüm yükseklikler için ise NFPA 285 deney standardına uyulmalıdır. Toplam kalınlığı 6,4 mm'ye eşit veya daha az olan, en az 0,5 mm'lik bir alüminyum kaplamaya sahip panellerin, bina inşaatı sırasında köpük plastik çekirdeğin açığa çıkmaması durumunda bir montaj olarak test edilmesine izin verilmektedir. **f)** Yangına direnimi olacak şekilde işlem görmüş ahşap malzemeler UL 723 ve ASTM E84 test standartları kapsamında değerlendirilmelidir. Bu test standartlarına göre yangın duvarlarında kullanılan ahşap malzemenin alev yayılma indeksi 25'ten daha az, duman yayılma indeksi ise 450'den daha az olmalıdır. **g)** Yönetmeliğe göre yangına dayanıklı camlar, yangın bariyerlerinin bulunduğu noktalarda uygun koruma derecesine sahip ve onaylanmış bir tipte olmalıdır.

Tablo 3.11 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi

Yönetmelikler	3-Yalıtım Malzemeleri
İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B Part 1-2)	**a)** Zemin seviyesinin üzerindeki dış duvar konstrüksiyonunun bir parçası olarak kullanılan membranlar, minimum B-s3, d0 sınıfında olmalıdır. **b)** Zemin seviyesinden en az 18 m yükseklikte ve bir veya daha fazla konut içeren herhangi bir binada (yurt, bakım evi, korunaklı konut, hastane, yatılı okul dahildir) dış duvarın veya belirtilen bağlantısının parçası haline gelen malzemelerin, BS EN 13501-1'e göre A2-s1, d0 veya A1 sınıfına sahip olması gerekmektedir. **c)** Yüksekliği 18 m veya daha fazla olan bir binada, herhangi bir yalıtım ürünü ve dolgu malzemesi (metal kompozit panellerin, sandviç panellerin ve pencere köşelik panellerinin çekirdek malzemeleri, contalar, sızdırmazlık malzemeleri ve benzeri) gibi bir dış duvarın yapımında kullanılan malzemeler A2-s3, d2 sınıfı veya daha iyisi olmalıdır. **d)** Ancak bu kuralda muaf olan malzemeler arasında; membranlar, contalar, sabitlemeler, destek çubukları, zemin seviyesinin altında veya bu seviyenin 300 mm yukarısına kadar kullanılan yalıtım ve su geçirmezlik malzemeleri, yangın durdurucu malzeme, pencere çerçeveleri ve cam, kapı çerçeveleri ve elektrik tesisatları bulunmaktadır.
Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)	**a)** Test edilmeye gerek olmayan A1 sınıfı malzemeler; mineral yün, alçı, alçı bazlı sıvalar, inorganik bağlayıcı elemanları olan harçlar, alçı birimler şeklinde belirtilmiştir. **b)** Derzleri açık veya havalandırmalı giydirme cephe sistemli binalarda kullanılan yalıtım malzemeleri olarak en az zor yanıcı malzeme kullanılmalıdır.

Tablo 3.11 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi (devam)

Yönetmelikler	3-Yalıtım Malzemeleri
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	**a)** Termal bariyerler, ASTM E 119 veya UL 263'e göre 15 dakikalık yangına maruz kaldıktan sonra, maruz kalmayan yüzeyin ortalama sıcaklık artışı 250°C'den fazla yükselmemeli ve UL 1040 veya UL1715'e göre en az 15 dakika yerinde kalmalıdır. **b)** Termal bariyerler, uygun olduğu şekilde, birincil alt katman, yapısal çerçeve veya duvar veya raylar üzerine mekanik olarak sabitlenmelidir. Ayrıca malzeme deliksiz bir yapıya sahip olmalıdır. **c)** Yanıcı özellikteki silikon, dolgu malzemeleri veya test edilmemiş dolgu macunlarının kaplama panellerinin bağlantısında kullanımına izin verilmemektedir. Giydirme cephelerde, EN 13501-1'e göre test edilen ve B-s2-d0 veya C-s2, d0 sınıfına giren contalara, EPDM ürünlere ve kauçuk kaplama malzemelere ise izin verilmektedir. **d)** Buhar Bariyeri sistemleri (VBS) ve membranlar özellikle kauçuk, bitüm esaslı malzemeler içermesi nedeniyle yapıları gereği yanıcı olabilir ve yangın gelişimi ve yayılması açısından cephe sisteminin genel performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle VBS ürünü, EN13501-1'e göre yangın sınıfı A'yı karşılamalıdır.
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	A veya B tipi bir yapıda, dış duvarlar ve ortak duvarlar, cephe kaplaması, yalıtım malzemeleri ve bunların contaları, sızdırmazlık malzemeleri, derz dolgu malzemesi gibi bileşenleri yanmaz olmalıdır. Yanıcı olmayan bir malzemenin gerekli olduğu her yerde alçı levha, normal kağıt kaplamalı delikli alçı çıta, elyaflı sıva levhası, elyaf takviyeli çimento kaplama kullanılabilmektedir. Metal kaplamalar ise, kalınlığı 1 mm'yi geçmeyen, yanıcı yüzey kaplamasına sahip olmayan ve alev yayılma indeksi 0'dan büyük olmayan malzemeler seçilmelidir. Kalınlığı 1 mm'yi geçmeyen ve yanıcılık indeksi 5'ten büyük olmayan sarkma tipi malzemeler, ve her tabakası yanmaz olan alev yayılım indeksi 3'ü geçmeyen yapıştırılmış lamine malzemeler yanıcı olmayan malzemeler kapsamında kullanılabilmektedir.
İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29)	Yönetmelikte yalıtım malzemeleri ayrı bir başlık olarak değerlendirilmemiştir. Cephe yangına dayanım ve cephe malzemesi kapsamındaki tablolarda bulunan ve genel cepheyi kapsayan bilgiler dışında yalıtım malzemesi kapsamında bir bilgi bulunmamaktadır.
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	**a)** Dış duvarda kullanılan plastik köpük yalıtım malzemesinin tutuşma özelliğinin belirlenmesi için test yapılması gerekmektedir. Malzeme, yapıya birden fazla kalınlıkta monte edilecek ise minimum ve maksimum kalınlık değerlendirmeye alınmalıdır. Dış duvar, NFPA 268'e göre test edildiğinde sürekli alevlenme göstermemesi gerekmektedir. Plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin yapının içi ve asma tavan boşlukları ile olan temasını engellemek için, NFPA 275'e göre 15 dakika boyunca plastik esaslı köpük yalıtım malzemesi ile birlikte test edildiğinde uygun olarak so ısı iletimi değerlerini karşılayan ısı bariyerleri kullanılmalıdır. Yönetmelik ısı bariyeri için 13 mm kalınlığında bir alçı levhanın kabul görebileceğini belirtmektedir. **b)** Buhar bariyerleri, havalandırma kâğıdı, kaplamalar ve çok katmanlı yansıtıcı folyo yalıtımların her katmanı dahil olmak üzere yalıtım malzemeleri Bölüm 8.16'da belirtilen kurallara uygun olmalıdır. **c)** Plastik yalıtım malzemesinin, alev yayılım indeksi en fazla 25, duman gelişim indeksi ise 450 olmalıdır.

Tablo 3.11 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi (devam)

Yönetmelikler	3-Yalıtım Malzemeleri
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	**d)** ASTM E1354 test standartlarına göre, suya dayanıklı bariyerin tepe ısı yayma oranı 150 kW/m^2'den az, toplam ısı salımı 20 mJ/m^2'den az ve etkin yanma ısısı 18 mJ/kg'dan az olmalıdır. ASTM E84 veya UL 723, ASTM E2404'e göre, alev yayılma indeksi 25 veya daha az ve duman geliştirme indeksi 450 veya daha az olmalıdır. **e)** Cephe sisteminde suya dayanıklı bariyerin tek yanıcı bileşen olduğu durumlarda dış duvar tertibatlarının Bölüm 37.1.5'e göre test edilmesi gerekmemektedir. Dış duvar düzeneği, Tablo 37.1.5.2'ye göre minimum kalınlıkta duvar (tuğla dahil), beton, taş, pişmiş toprak, sıva veya korozyona dayanıklı çelikten bir duvar kaplamasına sahip ise suya dayanıklı bariyerin test edilmesi gerekmemektedir. **f)** Cephe sisteminde suya dayanıklı bariyerin tek yanıcı bileşen olduğu durumlarda dış duvar tertibatlarının Bölüm 37.1.5'e göre test edilmesi gerekmemektedir.

Tablo 3.12 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yangın bariyerlerinin değerlendirilmesi

Yönetmelikler	4-Yangın Bariyerleri
İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B)	Yangın durdurucu, bir duvarın veya bir zeminin diğer bir duvar ile birleşşm noktasında konumlandırılmalıdır. Yangın durdurucular ASFP kırmızı kitap'a uygun olarak yapılmalıdır. Konuma ve duruma uygun olarak,çimento harcı, alçı esaslı sıva, çimento esaslı veya alçı esaslı vermikülit/perlit karışımları, cam elyafı, ezilmiş kaya, yüksek fırın cürufu veya seramik esaslı ürünler ve şişen mastikler kullanılmalıdır.
Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY)	Yangın kesici bariyerler 30 dk yangına dayanıklı olmalıdır.
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	**a)** Yangın boşluk bariyerleri, düşey sürekli boşluklar içindeki alevi sınırlandırmalıdır. Bir odadan bitişik boşluğa yangın çıkmasını sınırlamak için her katta pencere açıklıklarının etrafında konumlandırılmalıdır. **b)** Cephede kullanılan yalıtım malzemesinin yanmaz malzeme olmadığı durumlarda ise her kat seviyesinde yatay olarak ve cephenin her yüzünde ise düşey olarak konumlandırılmalıdır. Bu konumlandırmada yatay bariyerler sürekli olmalıdır. Kullanılan malzeme yanmaz (A1 veya A2) olmalı ve en az 100 mm yüksekliğinde olmalıdır. Bariyer birincil alt tabakaya veya yapısal çerçeve sistemine mekanik olarak bağlanmalıdır. Bariyer ile alt tabaka veya dış cephe paneli arasında herhangi bir yangın yolu oluşmaması için bitiş malzemesi yerleştirilmeli ve cephe panelinin arkasına uzatılmalı veya sıkıştırılmalıdır. Boşluğun havalandırmalı cephe tasarımının gerekli bir parçası olduğu ve boşluğun muhafaza edilmesi gerektiği durumlarda, bu amaç için onaylanmış ve listelenmiş bir şişen malzeme yangın bariyer bandı olarak sabitlenmelidir. Bu şişen bantlar, aleve maruz kaldıklarında boşlukları kapatmak için genişlemelidir.

Tablo 3.12 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre yangın bariyerlerinin değerlendirilmesi (devam)

Yönetmelikler	4-Yangın Bariyerleri
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	**a)** Bir giydirme cephe veya panel duvarın arkasında, boşluklar yangına ve dumana karşı sızdırmazlığını kaybetmeden ısıl genleşmeye ve duvarın yapısal hareketine dayanacak yanmaz bir malzeme ile doldurulmalıdır. Bütünlük ve yalıtım açısından yangına dayanıklı olması gereken yapı elemanları içindeki ve arasındaki boşluklar AS 1530.4'e göre test edilmelidir. **b)** Yangına dayanıklı zemin/tavan düzenekleri ve yangına dayanıklı veya yanmaz duvarlar arasındaki bağlantı noktalarına bitişik gizli boşluklara, yangına dayanıklı duvarlar ile yangına dayanıklı veya yanmaz dış duvarlar arasındaki birleşim yerlerine bitişik gizli boşluklara, kapı ve pencere açıklıklarına da boşluk bariyerleri yerleştirilmelidir. Yangın bariyerlerinin yangına dayanım performansı, sistemin monte edildiği elemanların en yüksek yangın dayanımına dayalı olarak belirlenmelidir. Sistem 60 dk veya 90 dk yangına dayanım süresine sahip ise bariyer en az 45 dk yangına dayanım performansına sahip olmalıdır. Sistem 120 dk veya 240 dk yangına dayanım performansına sahip ise bariyer en az 60 dk yangına dayanım performansına sahip olmalıdır.
İsveç Yangın Yönetmeliği (BRR 29)	Yönetmelikte yangın bariyerleri ayrı bir başlıkta değerlendirilmemiştir. Cephe yangına dayanım ve cephe malzemesi kapsamındaki tablolarda bulunan genel cepheyi ele alan bilgiler dışında yangın bariyeri kapsamında bir bilgi bulunmamaktadır.
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	**a)** Dış duvarlar aksi belirtilmedikçe yangına dayanıklı yatay ayırıcılar ile temelden çatının 760 mm aşağısına kadar dış duvarın yangına dayanım prensibine uygun olacak şekilde ayrılmalıdır. **b)** Katlardaki düşey yöndeki açıklıklarda bulunan duvarlar yangın bariyerleri ile çevrelenmeli, kattan kata veya kattan çatıya sürekli olmalı ve bariyerin yangına dayanıklılık derecesine uygun şekilde korunmalıdır. **c)** Yangın durdurucu malzemeler, en az 13 mm kalınlığında alçı levha, 12 mm kalınlığında ahşap yapısal panel veya yeterince desteklenen diğer onaylı malzemelerden olmalıdır. Tüm yangın durdurucuların bütünlüğü korunmalıdır.

Tablo 3.13 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre boşluk bariyerinin değerlendirilmesi

Yönetmelikler	5-Boşluk Bariyerleri
İngiltere Yangın Yönetmeliği (Approved Document B)	a) Boşluk bariyerleri zemin ve duvar arasındaki bağlantı noktalarında ve pencere gibi açıklıkların kenarlarında konumlandırılmalıdır. Yangın esnasında bütünlüğünü 30 dakika (E 30) koruyabilecek ve 15 dakika yangına yalıtım (I 15) sağlayabilecek bir malzeme seçilmeli ve mineral yün malzeme kullanılmalıdır. Ayrıca performansının etkisiz hale gelmesini engellemek için mekanik sabitleme yapılmalıdır.
Diğer Yönetmelikler	Diğer yönetmeliklerde boşluk bariyeri ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Tablo 3.14 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre cephe açıklıklarının değerlendirilmesi

Yönetmelikler	6-Cephe Açıklıklarının Değerlendirilmesi
İngiltere Yangın Yönetmeliği	Yönetmelikte cephe açıklıkları ile ilgili bir bilgi yer almamaktadır.
Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik	Tüm cephe yapım sistemlerinde, iki kat arasında korunumu olmayan boşluklarda düşey doğrultuda en az 100 cm yüksekliğinde yangına dayanıklı cephe elemanıyla dolu yüzey oluşturulmalıdır.
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği (UAEM)	Yatay olarak birbirinden 1524 mm mesafede bulunan binaların dış cephesinde yangın yayılmasını önlemek için bitişik katlarda bulunan dış duvarlardaki açıklıklar dikey olarak spandrel bölgelerle birbirinden ayrılmalıdır. Bu bölgelerde, düşey yönde minimum 914 mm'den az olmamak kaydıyla en az 60 dakika yangına dayanıklı koruyucu bariyerler veya 60 dakika yangına dayanıklı minimum 762 mm olan yatay yönde yangın dayanıklı koruyucu bariyerler kullanılmalıdır. Spandrel panellerin taşıyıcılarının da 1 saat yangına dayanıklı olması gerekmektedir.
Avusturalya Yangın Yönetmeliği (NCC)	A Tipi konstrüksiyonlu bir binada, bir dış duvardaki açıklığın herhangi bir kısmı, alt kattaki başka bir açıklığın üzerindeyse, spandreller bölgeleren az 900 mm yüksekliğinde ve ara kat mesafesinin en az 600 mm üsttünde mesafesinde konumlandırılmalı. Bu spandrel bölgedeki boşluk, yapısal yeterlilik, bütünlük ve yalıtım kapsamında yangın yalıtım derecesi 60 dakikadan az olmayan ve yanıcı olmayan malzeme ile doldurulmuş olmalıdır.
İsveç Yangın Yönetmeliği	Yönetmelikte cephe açıklıkları nın yangına dayanımı ile ilgili bir bilgi yer almamaktadır.
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	Dört veya daha fazla katlı, sprinkler sistem ile korunmayan ve yatay olarak birbirinden 1525 mm mesafede bulunan binalarda bulunan açıklıklar diğer katın açıklıklarından ayrılmalıdır. Bu açıklıklar, 1 saat yangına dayanıklı düşey yönde 915 mm spandrel bir bölge ile veya yatay olarak 1 saat yangına dayanıklılık derecesine sahip 760 mm genişlikte bir yatay bariyer ile ayrılmalıdır.

Tablo 3.14 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre duman bariyerinin değerlendirilmesi

Yönetmelikler	7-Duman Bariyeri
Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği (NFPA 5000)	Yönetmeliğin gerektirdiği duman bariyerleri, bir dış duvardan bir dış duvara, bir kat döşemesinden diğer bir kat döşemesine veya bir duman bariyerinden bir duman bariyerine veya bunların bir kombinasyonu olacak şekilde sürekli olmalıdır. Duman bariyerinin gereksinimleri karşılaması koşuluyla, bir yangın bariyerinin duman bariyeri olarak kullanılmasına izin verilmektedir.
Diğer Yönetmelikler	Diğer yönetmeliklerde duman bariyeri ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11, Tablo 3.12, Tablo 3.13, Tablo 3.14'te yönetmelikler havalandırmalı giydirme cephelerde yangın güvenlik önlemleri kapsamında karşılaştırmalı olarak ele alınıp değerlendirilmiştir. Yönetmeliklerin cephe yangınları kapsamında ele aldıkları başlıklar; iki bina arasında bulunan ortak sınır mesafesi kapsamında cephelerin uyması gereken kurallar, cephe kaplama malzemeleri, yalıtım malzemeleri, cephe açıklıklarının değerlendirlmesi, yangın bariyeri, duman bariyeri, boşluk bariyeri şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda yapılan incelemeler doğrultusunda Türkiye BYKHY değerlendirildiğinde yangının cephe üzerinden yayılması, katlara ulaşmasının engellenmesi ve kompartmanlama konularında eksiklikleri olduğu görülmektedir. Yönetmelikte, yapının yüksekliği ana kriter olarak alınmaktadır. Cephe türlerini ise geleneksel cephe ve giydirme cephe olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Ancak giydirme cephe sistemleri kapsamına giren havalandırmalı giydirme cephe sistemiyle ilgili malzemeler için belirtilen kriterler yetersiz kalmakta, cephe sisteminin işleyişi ve hava boşluğu hakkında ek kriterler belirtilmemekte ve test standartlarına yönlendirme yapılmamaktadır. Bu bağlamda yönetmeliğin yangına dayanımlı havalandırmalı giydirme cephe tasarımının nasıl gerçekleştirileceğine dair yol gösterici ilkeler oluşturmak amacıyla tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Cephe yangın güvenlik önlemleri kapsamında incelenen uluslararası yönetmeliklerin ise hükme ve performansa dayalı mevzuat gereklilikleri olduğu görülmüştür. Özellikle Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği ve Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği malzeme ve tasarım konusunda diğer yönetmeliklere göre kapsamını daha geniş tutmuştur. Ancak yönetmelikler içerisinde havalandırmalı giydirme cephe tipleri ile ilgili olarak bir ayrım yapılmadığı gözlemlenmiştir. Cepheler ile ilgili yer alan genel maddeler incelenmiş, bu maddelerden havalandırmalı giydirme cepheye uygun olabilecek bölümler ayrıştırılarak incelemeye alınabilmiştir.

Tasarımcı, yangın güvenlik önlemleri kapsamında tasarımını oluştururken yangın yönetmeliğini kılavuz kabul etmektedir. Ancak yönetmeliklerde cephelerin genel bir başlık altında incelenmesi tasarımcıda kafa karışıklığı yaratabilmekte ve tasarım aşamasında eksikliklere yol açabilmektedir. Bu nedenle, tasarım aşamasında

hataların ve vakit kayıplarının minimuma inmesi için yönetmeliklerde cephe türlerinin ayrı başlıklar altın değerlendirilmesi önemlidir.

4

HAVALANDIRMALI GİYDİRME CEPHE SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA MEYDANA GELEN YANGINLARIN , YANGIN YÖNETMELİKLERİ VE DENEYLER KAPSAMINDA KARŞILAŞTIRILMASI

Havalandırmalı giydirme cephelerde meydana gelen ve son yıllarda oranı artan yangın olayları bu cephe sistemlerinin yangın güvenliği açısından eksiklerinin olduğunu ve konu ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tez kapsamında havalandırmalı giydirme cephe kurgusu ve çeşitleri detaylı olarak incelenerek havalandırmalı giydirme cephenin tasarım prensipleri ve yangın yayılım dinamiği açıklanmış ve cephe katmanları ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. İkinci bölümde pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında havalandırmalı giydirme cephelerde 1990 ve 2021 yılları arasında meydana gelmiş yangın olayları incelenmiş, ancak meydana gelmiş gerçek zamanlı cephe yangınları ile ilgili yapılan literatür araştırmaları ve incelenen yangın raporlarında yeterli bilgiye erişilememesi veya itfaiye raporlarına ulaşılamaması sonucunda yeterli bilgilere ulaşılabilen 9 tane meydana gelmiş yangın olayı değerlendirmeye alınmıştır. Aynı zamanda havalandırmalı giydirme cephelerde yangın yayılımını araştıran ve bu konuda deneysel çalışma yapan akademik çalışmalar incelenerek sonuçlar bir araya getirilmiştir.

Üçüncü bölümde ise Türkiye, İngiltere, Amerika, Birleşik Arap Emirlikleri, İsveç ve Avustralya 'nın yangın yönetmeliklerinde havalandırmalı giydirme cephelerle ilgili yer alan bilgiler değerlendirmek ve eksiklikleri belirlemek amacıyla bir araya getirilmiştir.

Bu bölümde ise; elde edilen tüm bu veriler doğrultusunda, çevresel etmenlerin birçoğunun bulunmadığı yalıtımlı laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları ile farklı çevresel etmenlere sahip gerçek zamanlı yangınların yayılım dinamikleri karşılaştırılarak, deneyler ile gerçek zamanlı olayların ne derece örtüştüğü ortaya koyulacaktır. Aynı zamanda 1990 ile 2021 yıllarında meydana gelen havalandırmalı cephelerdeki yangın olaylarının dokuz tanesi

yönetmeliklerdeki ilgili kurallara göre değerlendirilip, yapıların yönetmeliklere uygunluğu tartışılacak ve bu bağlamda yönetmeliklerin yeterliliği analiz edilecektir. Farklı havalandırmalı giydirme cephe türleri kapsamında kullanılan farklı malzeme türlerinin yangın yayılımına etkisi yorumlanarak, yönetmelikte önerilen ve gerçek yangın olayların kullanılan malzemeler üzerinden yorumlanacaktır.

Havalandırmalı giydirme cephe sisteminin yangın esnasında oluşturabileceği risklerin belirlenmesi, tasarım ve üretim aşamalarında, cephelerde pasif yangın güvenlik önlemlerinin alınmasında büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle, havalandırmalı giydirme cephelerde pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında yapılan deneysel çalışmalar araştırılmış, elde edilen bilgiler doğrultusunda 1990-2021 yılları arasında havalandırmalı giydirme cepheye sahip binalarda meydana gelen yangın olayları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Ancak meydana gelmiş gerçek zamanlı havalandırmalı cephe yangınları ile ilgili yapılan araştırmalarda ve itfaiye yangın raporlarında yeterli bilgiye erişilememesi veya bu raporlara ulaşılamaması sonucunda tüm havalandırmalı giydirme cephe yangınları değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Bu kapsamda çalışmadaki inceleme ve kıyaslamalar, yeterli bilgiye ulaşılabilen gerçek zamanlı havalandırmalı cephe yangınları ile (dokuz adet yapı olarak) sınırlandırılmıştır. İncelenen mevcut yangın verileri ve literatürden elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırma tablosu oluşturulup cephe kaplaması, cephe yalıtımı, hava boşluğu, yangın bariyeri, düşey yangın yayılım alanı, yangın yayılım süresi, yangın yayılım hızı, maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklığa ulaşma süreleri kapsamında değerlendirilmiştir (Tablo 4.1).

Bu tablo ile akademik çalışmalar kapsamında yapılmış olan deneylerden elde sonuçların gerçek zamanlı yangınlarla karşılaştırıldığında ne derecede örtüştüğünü tespit etmek amaçlanmıştır. Deneylerde ve meydana gelen yangın olaylarında verilmemiş olan yangın yayılım hızları için Bölüm 2.3.1'deki formül kullanılmış ve tabloda (*) işareti ile belirtilmiştir.

Tablo 4.1 1990-2021 yılları arasında meydana cephe yangınları (dokuz farklı olay) ve literatürden elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması (Çalışkan&Korkmaz, 2023'den derlenmiştir)

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar		Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı		Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcaklık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
		Malzeme	Kaplama Kalınlığı	Çekirdek Kalınlığı	Malzeme	Kalınlık							
Meydana Gelen Yangın Olayları	**Water Club Tower**	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Polistren	-	-	Yok	3-41. kat ve çatı	-	15 m/dk	-	-
	TVCC Tower	Titanyum Çinko Alaşımlı Kompozit	-	-	Polistren (XPS)	-	-	Yok	31 kat	20 dk	8 m/dk		
	Wooshin Golden	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Cam yünü	30 mm	50 mm	Yok	4-38 kat	20 dk	6,29 m/dk*	-	-
	Polat Tower	ACM-EPS	0,5 mm	3 mm	MW	-	-	Yok	1-34 kat (140m)	3,5 dk	39,6 m/dk	-	-
	Mermoz Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	MW	-	-	Yok	2-18 kat ve çatı	6-7 dk	6,2 m/dk*	-	-
	Tamweel Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	PUR	-	-	Yok	1-34. kat	-	16 m/dk	-	-
	Grozny-City Tower	ACM-PE	-	-	Plastik Levha	-	-	Yok	40 kat	-	9,5 m/dk	-	-
	Lacrosse Building	ACM-PE (balkon)	0,5 mm	9 mm	Yok	-	-	Yok	6-21. kat ve çatı	6-7 dk	7,7 m/dk*	-	-
		ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Fiberglass	-	-	Yok	6-21. kat ve çatı	10 dk	5,4 m/dk*	-	-
	Grenfell Tower	ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Folyo kaplı PIR	150 mm	50 mm	Var	4-23. kat ve çatı	21 dk	6. kata kadar 3,5 m/dk Çatıda 8 m/dk	-	-

Tablo 4.1 1990-2021 yılları arasında meydana gelen cephe yangını (dokuz farklı olay) ve incelenen deney sonuçları karşılaştırma tablosu (devamı) (Çalışkan&Korkmaz, 2023'den derlenmiştir)

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı		Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcaklık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
			Malzeme	Kaplama Kalınlığı	Çekirdek Kalınlığı	Malzeme	Kalınlık							
Deneyler ve düzenekler	Sharma ve Mishra	6	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	MW	25 mm	50 mm	Yok	1,47 m	5 dk	0,14 m/dk	308°C	8-10 dk
		4	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	EPS	25 mm	50 mm	Yok	1,65 m	< 2 dk	0.27 m/dk	555°C	< 2 dk
		5	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	PIR	25 mm	50 mm	Yok	2,3 m	< 2 dk	0,31 m/dk	840°C	5 dk
	Guillaume ve ark.	7	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	50 mm	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
		8	ACM-PE	0,5mm	3 mm	K15	50 mm	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
		9	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	100 mm	50mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	Jones ve ark.	4	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	100 mm	50 mm	Var	5 m	13,5 dk	0,38 m/dk*	1000°C	13,5 dk
		1	ACM-A2	0,5mm	3 mm	MW	180 mm	50 mm	Var	5 m	30 dk	0,17 m/dk*	500°C	30 dk
	DCLG	1	ACM-PE	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı PIR	100 mm	50 mm	Var	6,5 m	6.6 dk	0.98 m/dk*	814°C	6,5 dk
		2	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	180 mm	50 mm	Var	6,5 m	5,2 dk	1.25 m/dk*	675°C	5,2 dk
		3	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı PIR	100 mm	50 mm	Var	6,5 m	23,4 dk	0.28 m/dk*	877°C	23,2 dk
		4	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	MW	180 mm	50 mm	Var	6,5 m	28,5 dk	0.23 m/dk*	810°C	21,5 dk
		7	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı FenoliKöpük	100 mm	50 mm	Var	6,5 m	26 dk	0.25 m/dk*	939°C	26 dk

Cephe kaplama malzemesi, yalıtım malzemesi ve hava boşluğu koşulları aynı olan deneyler ile meydana gelen yangın olayları kıyaslandığında yangın yayılım süreleri, yangın yayılım alanı ve yangın yayılım hızında farklılık gözlemlenmektedir. Meydana gelen gerçek yangın olaylarının incelenen deneylere göre daha hızlı ilerlediği tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Water Club Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Water Club Tower			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Polistren	-
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**4**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	EPS	25 mm
	Guillaume ve ark.	**7**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	50 mm
		8	ACM-PE	0,5mm	3 mm	K15	50 mm
	Jones ve ark.	**4**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	100 mm
	DCLG	**1**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı PIR	100 mm
		3	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı PIR	100 mm
		7	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı Fenoli Köpük	100 mm

Tablo 4.3 Water Club Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcaklık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
Water Club Tower			-	Yok	3-41. kat ve çatı	-	15 m/dk	-	-
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**4**	50 mm	Yok	1,65 m	< 2 dk	0.27 m/dk	555°C	< 2 dk
	Guillaume ve ark.	**7**	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
		8	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	Jones ve ark.	**4**	50 mm	Var	5 m	13,5 dk	0,38 m/dk*	1000°C	13,5 dk
	DCLG	**1**	50 mm	Var	6,5 m	6.6 dk	0.98 m/dk*	814°C	6,5 dk
		3	50 mm	Var	6,5 m	23,4 dk	0.28 m/dk*	877°C	23,2 dk
		7	50 mm	Var	6,5 m	26 dk	0.25 m/dk*	939°C	26 dk

Water Club Tower yangınına ait veriler, Sharma ve Mishra'nın 4.., Guillaume ve arkadaşlarının 7 ve 8., Jones ve arkadaşlarının 4., DCLG deneylerinde ise 1, 3, 7. deneyi ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.2, Tablo 43). Water Club Tower'ın yangın yayılım hızı 15 m/dk dır. 4. deney düzeneğinde yangın yayılım hızı 0,27 m/dk, 5. deney düzeneğinde 0,31 m/dk, 7. Ve 8. deney düzeneğinde 0.48 m/dk bulunmuştur. Jones ve arkadaşlarının 4. düzeneğinde 0,38 m/dk iken DCLG deneylerinde ise 1. düzeneği 0.98 m/dk, 3. deney düzeneği 0,28 m/dk, 7. deney düzeneği ise 0,25 m/dk olarak bulunmuştur. Bu durumda, Water Club Tower'da yangının daha hızlı yayıldığı görülmüştür. Sharma ve Mishra'nın yapmış olduğu deney düzeneği 4'de kaplama ve yalıtım malzemesi aynı olmasına rağmen yangın hızı yapıda daha fazla olmuştur. Bunun sebebinin ise deney yapılan ortamlarda çevre koşullarının olmaması, hava boşluğu ve cephenin geometrik yapısı olarak düşünülmektedir. Guillaume ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu deney 7, 8, Jones ve diğerlerinin deney düzeneği 4 ve DCLG deney düzenekleri 1'e bakıldığında ise Water Club Tower ile yalıtım malzemelerinin farklı, ancak kaplama malzemelerinin aynı olduğu görülektedir. Deney düzeneği 8 için yapı ile deneyde kullanılan yalıtım malzemelerinin maksimum ısı iletim katsayısı aynıdır. Ancak buradaki değişken deneylerde kullanılan yangın bariyeridir. Guillaume ve diğerlerinin deney düzeneği

7, Jones ve diğerlerinin deney düzeneği 4'de yalıtım malzemesinin Sharma ve Mishra'nın deney düzeneği 5 ile aynı olmasından dolayı benzer yorum yapılabilmektedir. Bu doğrultuda incelendiğinde, yangın bariyeri kullanımının yangın yayılım hızlarının farklı olmasındaki etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Deney düzeneği DCLG 3 ve 7'ye bakıldığında ise farkın kaplama malzemesinin alev geciktirici etkisi ve yangın bariyerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.4 TVCC Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
TVCC Tower			Titanyum Çinko Alaşımlı Kompozit	-	-	Polistren (XPS)	-
Deney	**Sharma ve Mishra**	**4**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	EPS	25 mm

Tablo 4.5 TVCC Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			**Hava Boşluğu**	**Yangın Bariyeri**	**Düşey yangın yayılım alanı**	**Yangın yayılım süresi**	**Yangın Yayılım Hızı**	**Max sıcaklık**	**Max sıcaklığa ulaşma süreleri**
TVCC Tower			-	Yok	31 kat	20 dk	8 m/dk	-	-
Deney	**Sharma ve Mishra**	**4**	50 mm	Yok	1,65 m	< 2 dk	0.27 m/dk	555°C	< 2 dk

TVCC Tower yangınına ait veriler, Sharma ve Mishra'nın deney düzeneği 4 ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.4, Tablo 4.5). TVCC Tower'ın yangın yayılım hızı 8 m/dk dır. 4. deney düzeneğinde yangın yayılım hızı 0,27 m/dk dır. Bu bilgiler doğrultusunda, TVCC Tower'ın yangın yayılımının daha hızlı olduğu görülmüştür. Bu kıyaslamada değişen olarak kaplama malzemesinde kullanılan metal panel gösterilebilmektedir. Titanyum çinko metal panelin erime sıcaklığının alüminyuma göre daha düşük olmasının yayılım hızına etki ettiği düşünülmektedir. Ancak diğer tüm koşulların aynı olduğu göz önüne alındığında aradaki farkın çok büyük olduğu saptanmaktadır.

Bu nedenle gerçekleşen yangın esnasındaki hava koşullarının, mevcut yapının geometrisinin, deney düzeneğinde bulunmayan ancak yapıda bulunan diğer malzemelerin (dolgu malzemeleri, bariyerler vb.) yangın hızını arttırıcı etkenler olabileceği düşünülmüştür.

Tablo 4.6 Wooshin Golden Suit yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Wooshin Golden			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Cam yünü	30 mm
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**6**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	MW	25 mm
	Guillaume ve ark.	**9**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	100 mm
	DCLG	**2**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	180 mm

Tablo 4.7 Wooshin Golden Suit yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			**Hava Boşluğu**	**Yangın Bariyeri**	**Düşey yangın yayılım alanı**	**Yangın yayılım süresi**	**Yangın Yayılım Hızı**	**Max sıcaklık**	**Max sıcaklığa ulaşma süreleri**
Wooshin Golden			50 mm	Yok	4-38 kat	20 dk	6,29 m/dk*	-	-
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**6**	50 mm	Yok	1,47 m	5 dk	0,14 m/dk	308°C	8-10 dk
	Guillaume ve ark.	**9**	50mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	DCLG	**2**	50 mm	Var	6,5 m	5,2 dk	1.25 m/dk*	675°C	5,2 dk

Wooshin Golden Suits yangınına ait veriler Guillaume ve diğerlerinin 9., Sharma ve Mishra'nın 6., DCLG deneyi 2. deney düzenekleri ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.6, Tablo 4.7). 9. deney düzeneği yangın yayılım hızının 0,48m/dk, 6. deney düzeneğinde bu hızın 0,14 m/dk, 2. deney düzeneğinde ise 1,25 m/dk olduğu görülmektedir. Wooshin Golden Suits'in yangın yayılım hızı ise 6,29 m/dk bulunmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda, Wooshin Golden Suits'in yangın yayılımının daha hızlı olduğu görülmüştür. Yangının Wooshin Golden Suits'de daha hızlı yayılmasının nedenleri

olarak cephe geometrisinin U şeklinde olması ve rüzgâr etkisi gösterilebilmektedir. Deney 9 ve deney 2'de ise yangın bariyeri olması ve sabit brülör gücü nedeniyle yangın Wooshin Golden Suits yangınından daha yavaş ilerlemiştir. Deney 6 incelendiğinde ise yangın bariyeri kullanılmamasına karşın yangın hızının meydana gelen yangın olayına kıyasla yine daha yavaş olduğu görülmektedir (Çalışkan & Korkmaz, 2023).

Tablo 4.8 Polat Tower ve Mermoza Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	Kaplama Kalınlığı	Çekirdek Kalınlığı	Malzeme	Kalınlık
Polat Tower			ACM-EPS	0,5 mm	3 mm	MW	-
Mermoza Tower			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	MW	-
Deneyler ve düzenekler	Sharma ve Mishra	6	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	MW	25 mm
	Guillaume ve ark.	9	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	100 mm

Tablo 4.9 Polat Tower ve Mermoza Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcak-lık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
Polat Tower			-	Yok	1-34 kat (140m)	3,5 dk	39,6 m/dk	-	-
MermozaTower			-	Yok	2-18 kat ve çatı	6-7 dk	6,2 m/dk*	-	-
Deneyler ve düzenekler	Sharma ve Mishra	6	50 mm	Yok	1,47 m	5 dk	0,14 m/dk	308° C	8-10 dk
	Guillaume ve ark.	9	50mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-

Polat Tower ve Mermoza Tower yangınları Guillaume ve diğerlerinin 9., Sharma ve Mishra' ın 6. deney düzenekleri ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.8, Tablo 4.9). 9. deney düzeneği yangın yayılım hızının 0,48m/dk, 6. deney düzeneğinde ise 0,14 m/dk olduğu görülmektedir. Polat Tower'da yangın yayılım hızı 39,6 m/dk, Mermoz Tower'da ise 6,2 m/dk olarak bulunmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda deney düzeneklerindeki yangının çok daha yavaş ilerlediği görülmüştür. Yangın, 9. deney

düzeneğinde yangın bariyerinin olması sebebiyle Mermoz Tower ve Polat Tower'a göre daha yavaş yayılmıştır. 6. deney düzeneğinde yangın bariyeri bulunmamakta olup yangın hızı Mermoz Tower ve Polat Tower yangınlarına kıyasla yine de daha yavaştır. Polat Tower yangının cephe kaplama malzemesi EPS çekirdeğe sahip olmasına rağmen daha yanıcı olan PE çekirdeğe sahip deney düzeneklerine göre yangının daha hızlı ilerlediği tespit edilmiştir. Mermoz Tower yangınında ise balkonda bulunan yanıcı eşyaların, balkonun dekoratif kaplaması olan 10 mm ACM-PE'nin kalınlığının, balkonların yalıtım malzemesine sahip olmamasının ve hava koşullarının yangın hızını arttırıcı etken olabileceği düşünülmüştür (Çalışkan & Korkmaz, 2023).

Tablo 4.10 Tamweel Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Tamweel Tower			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	PUR	-
Deneyler ve düzenekler	**Guillaume ve ark.**	**8**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	K15	50 mm
	Jones ve ark.	**4**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	100 mm

Tablo 4.11 Tamweel Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			**Hava Boşluğu**	**Yangın Bariyeri**	**Düşey yangın yayılım alanı**	**Yangın yayılım süresi**	**Yangın Yayılım Hızı**	**Max sıcaklık**	**Max sıcaklığa ulaşma süreleri**
Tamweel Tower			-	Yok	1-34. kat	-	16 m/dk	-	-
Deneyler ve düzenekler	**Guillaume ve ark.**	**8**	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	Jones ve ark.	**4**	50 mm	Var	5 m	13,5 dk	0,38 m/dk*	1000 °C	13,5 dk

Tamweel Tower yangını Guillaume ve arkadaşlarının deney düzeneği 8 ve Jones ve arkadaşlarının deney düzeneği 4 ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.10, Tablo 4.11). Tamweel Tower'ın yangın yayılım hızı 16 m/dk iken 8. deney düzeneğinde 0.48 m/dk, deney düzeneği 4'te ise 0,38 m/dk dir. Yangın yayılım hızları

karşılaştırıldığında, Tamweel Tower'da yangının daha hızlı yayıldığı görülmüştür. Deney düzeneklerinde kaplama ve yalıtım malzemeleri (deney düzeneği 4'teki EPS yalıtım ile PUR malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı aynı olmasından dolayı kıyaslanmıştır) aynı olsa da her iki deneyde de hava boşluğunda yangın bariyeri mevcuttur. Yangın yayılım hızını, hava boşluğunda yangın kesici bariyerlerin kullanılmaması, cephede bulunan korumasız hava boşluğunun baca etkisi yaratması ve yangın esnasında bölgede etkili olan rüzgarın arttırmış olabileceği varsayılmaktadır.

Tablo 4.12 Grozny-City Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Grozny-City Tower			ACM-PE	-	-	Plastik Levha	-
Deney	**Sharma ve Mishra**	**4**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	EPS	25 mm

Tablo 4.13 Grozny-City Tower Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			**Hava Boşluğu**	**Yangın Bariyeri**	**Düşey yangın yayılım alanı**	**Yangın yayılım süresi**	**Yangın Yayılım Hızı**	**Max sıcak-lık**	**Max sıcaklığa ulaşma süreleri**
Grozny-City Tower			-	Yok	40 kat	-	9,5 m/dk	-	-
Deney	**Sharma ve Mishra**	**4**	50 mm	Yok	1,65 m	< 2 dk	0.27 m/dk	555° C	< 2 dk

Grozny-City Tower yangını Sharma ve Mishra'nın deney düzeneği 4 ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.12, Tablo 4.13). Grozny-City Tower yangın yayılım hızı 9,5 m/dk iken deney düzeneği 4'ün yangın yayılım hızı 0,27 m/dk dır. Bu bilgiler doğrultusunda deney düzeneklerindeki yangının daha yavaş ilerlediği görülmüştür. Bu yangın yayılım hızındaki farklılığın, cepheye etkiyen yüksek rüzgâr ve cephenin geometrik yapısı olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır.

Tablo 4.14 Lacrosse Building yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Lacrosse Building			ACM-PE (balkon)	0,5 mm	9 mm	Yok	-
			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Fiberglass	-
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**6**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	MW	25 mm
	Guillaume ve ark.	**9**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	100 mm
	Jones ve ark.	**1**	ACM-A2	0,5mm	3 mm	MW	180 mm
	DCLG	**2**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	MW	180 mm
		4	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	MW	180 mm

Tablo 4.15 Lacrosse Building yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			**Hava Boşluğu**	**Yangın Bariye-ri**	**Düşey yangın yayılım alanı**	**Yangın yaylım süresi**	**Yangın Yaylım Hızı**	**Max sıcak-lık**	**Max sıcaklığa ulaşma süreleri**
Lacrosse Building			-	Yok	6-21. kat ve çatı	6-7 dk	7,7 m/dk*	-	-
			-	Yok	6-21. kat ve çatı	10 dk	5,4 m/dk*	-	-
Deneyler ve düzenekler	**Sharma ve Mishra**	**6**	50 mm	Yok	1,47 m	5 dk	0,14 m/dk	308° C	8-10 dk
	Guillaume ve ark.	**9**	50mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	Jones ve ark.	**1**	50 mm	Var	5 m	30 dk	0,17 m/dk*	500° C	30 dk
	DCLG	**2**	50 mm	Var	6,5 m	5,2 dk	1.25 m/dk*	675° C	5,2 dk
		4	50 mm	Var	6,5 m	28,5 dk	0.23 m/dk*	810° C	21,5 dk

Lacrosse Building yangını Guillaume ve diğerlerinin 9. deney düzeneği, Sharma ve Mishra' nın 6. deney düzeneği ve Jones ve diğerlerinin 1. deney düzeneği, DCLG deneylerinde ise 2. ve 4. deney düzeneği ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.14, 4.15). 9. deney düzeneğinde yangın yayılım hızı 0,48m/dk, 6. deney düzeneğinde 0,14 m/dk,

1. deney düzeneğinde 0,17 m/dk, 2. deney düzeneğinde 1,25 m/dk, 4. deney düzeneğinde ise 0,23 m/dk olarak bulunmuştur. Lacrosse Building'in yangın yayılım hızının ise balkonlarda 7,7 m/dk, cephede 5,4 m/dk olduğu görülmüştür. Bu bilgiler doğrultusunda deney düzeneklerindeki yangının daha yavaş ilerlediği görülmüştür. Burada ise balkon tasarımının yaratmış olduğu boşluğun, cephede yangın bariyerinin olmamasının ve çevresel/iklimsel etkenlerin varlığının yangın yayılım hızını etkilediği düşünülmüştür (Çalışkan & Korkmaz, 2023).

Tablo 4.16 Grenfell Tower yapısı yangınının deneyler ile cephe kaplaması ve cephe yalıtımı kapsamında karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Cephe Kaplaması			Cephe Yalıtımı	
			Malzeme	**Kaplama Kalınlığı**	**Çekirdek Kalınlığı**	**Malzeme**	**Kalınlık**
Grenfell Tower			ACM-PE	0,5 mm	3 mm	Folyo kaplı PIR	150 mm
Deneyler ve düzenekler	**Jones ve ark.**	**4**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	100 mm
	Sharma ve Mishra	**5**	AL-45-PE	0,5mm	3 mm	PIR	25 mm
	Guillaume ve ark.	**7**	ACM-PE	0,5mm	3 mm	PIR	50 mm
	DCLG	**3**	ACM-PE (alev geciktiric)	0,5mm	3 mm	Folyo Kaplı PIR	100 mm

Tablo 4.17 Grenfell Tower yapısı yangınının hava boşluğu ve yangın yayılım hızı kapsamında deneyler ile karşılaştırma tablosu

Değerlendirme kriterleri / Deneyler ve yangınlar			Hava Boşluğu	Yangın Bariyeri	Düşey yangın yayılım alanı	Yangın yayılım süresi	Yangın Yayılım Hızı	Max sıcak-lık	Max sıcaklığa ulaşma süreleri
Grenfell Tower			50 mm	Var	4-23. kat ve çatı	21 dk	6. kata kadar 3,5 m/dk Çatıda 8 m/dk	-	-
Deneyler ve düzenekler	**Jones ve ark.**	**4**	50 mm	Var	5 m	13,5 dk	0,38 m/dk*	1000 °C	13,5 dk
	Sharma ve Mishra	**5**	50 mm	Yok	2,3 m	< 2 dk	0,31 m/dk	840° C	5 dk
	Guillaume ve ark.	**7**	50 mm	Var	2,4 m	5 dk	0,48 m/dk*	-	-
	DCLG	**3**	50 mm	Var	6,5 m	23,4 dk	0.28 m/dk*	877° C	23,2 dk

Grenfell Tower yangını Jones ve diğerlerinin 4., Sharma ve Mishra'nın 5. ve Guillaume ve diğerlerinin 7. deney düzeneği, DCLG deneylerinden ise 3. deney düzeneği ile kıyaslanmıştır (Tablo 4.16, 4.17). 4. deney düzeneğinin yangın yayılım hızı 0,38 m/dk, 5. deney düzeneğinde 0,31 m/dk, 7. deney düzeneğinde 0,48 m/dk, 3. deney düzeneğinde ise 0,28 m/dk olarak bulunmuştur. Grenfell Tower'da yangın yayılım hızı ise altıncı kata kadar 3,5 m/dk, çatıda ise 8 m/dk şeklinde ölçülmüştür. Bu veriler doğrultusunda yangın yayılım hızının Grenfell Tower'da deneylere göre daha hızlı olduğu görülmüştür. 7., 4. ve 3. deney düzeneklerinde de yangın bariyeri olmasına karşın Grenfell Tower ile yangın yayılım hızındaki farklılığın, Grenfell Tower'da yangın bariyerlerinin yanlış konumlandırılmasından dolayı hava boşluğunda oluşan açıklıklardan kaynaklandığı görülmüştür. 5. deney düzeneğinde ise yangın bariyeri olmamasına rağmen deneydeki yangın hızı Grenfell Tower yangınına göre daha yavaş ilerlemiştir. Bu durumun ise yangın esnasında bölgede etkin olan hava koşullarından kaynaklı olabileceği düşünülmüştür (Çalışkan & Korkmaz, 2023).

İncelenen deneyler ve meydana gelen yangın olayları karşılaştırıldığında, yangın yayılım dinamiği ve hızındaki farklılığı etkileyen unsurların başında

deney düzeneklerinin geometrik yapısının, malzemelerin montaj şekillerinin, malzeme çeşitliliğinin, yangın bariyerleri arasındaki mesafenin, deney düzeneğinin bulunduğu çevresel/iklimsel koşullarının ve brülör özelliklerinin geldiği görülmektedir.

4.1 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Kullanılan Malzemeler ve Yangın Yayılımına Etkileri

Havalandırmalı giydirme cephe türleri ve bu türler kapsamında kullanılan malzemelerin yangın yayılımına etkileri hazırlanan tablolarda incelenmiştir (Tablo 4.18-4.27). Tablo 4.18'den Tablo 4.27'ye kadar kaplama malzemesi çeşitliliğine göre; mevcutta piyasada kullanılan kaplama malzemesi kalınlığı, sistemin hava boşluğu genişliği, derz uzaklığı, derz genişliği, yangın sınıfı başlıklarıya analiz edilmiştir. Hava boşluğu genişliği; uygulayıcı firmalar tarafından kullanılan hava boşluğu genişliği, standartlarda belirtilen olması gereken hava boşluğu genişliği ve akademik çalışmalarda kullanılan hava boşluğu genişliği kapsamında değerlendirilmiştir. Havalandırmalı giydirme cephe kaplama sisteminde bulunan hava boşluğundaki hava akışının kaplama malzemesi çeşidine bağlı olarak değişimi incelenmiştir (Tablo 4.18-4.25). Havalandırmalı giydirme cephelerin yalıtım katmanı ile ilgili malzemeler yangın dayanımı, yangın sınıfı ve ısı iletkenlik katsayısı başlıkları ile gruplanmışlardır (Tablo 4.26-4.27).

Tablo 4.18 Tuğla kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları				
							Hava Boşluğu Genişliği				Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**20 mm**	**150 mm**	**60 mm**	**25 mm**	
Tuğla Kaplama	max. 0,12 m	Olması gereken: min. 50 mm, max.114mm Literatürde yapılan deneylerde kullanılan: 20-60 mm Uygulayıcı firmalar: 20 mm ile 100 mm arasında kullanılıyor ancak yaygın olarak 60 mm ile 70 mm	Dikdörtgen; Yatay max 600 mm'de bir tuğla yüksekliği kadar Yuvarlak; 400 mm'de bir 10 mm çapında	Dikdörgen ise 10x 65 mm. Yuvarlak ise çapı 10 mm.	Her bir bölme için hem üstte hem de altta en az iki havalandırma.	A1	0,03 ile 0,15 m/sn arasında	**Yaz günü:** 0,5 m/sn	**Yaz günü:** max. 2,3 m/sn **Kış günü:** max 2 m/sn	**Güneş ışınımına max maruz kalma:** 0,18-0,25 m/sn arasında	Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu araştırmada ise minimum ile maksimum değer 0,007–2,25 m/sn aralığında olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4.19 Taş kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları		
							Hava Boşluğu Genişliği		Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**240 mm**	**25 mm**	
Taş Kaplama	12 ile 40 mm arasında	Olması gereken: minimum 25 mm Uygulayıcı firmalar: 40-120 mm	Bu konu ile ilgili kural bulunamamıştır.	4, 6, 8, 10 mm	Bölmenin üstünde ve altında (cephenin tabanı, pencere üstü ve altı vb)	A1	**Yaz ayları: Açık derz:** 0,28-0,73 m/sn arasında **Kapalı derz:** 0,03-0,19 m/sn arasında	**Açık derz:** max. 0,19 m/sn **Kapalı derz:** 0,07 m/sn	*** Literatürde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda bulunan minimum ile maksimum değer 0,03-0,028 m/sn aralığında olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.20 HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları			
							Hava Boşluğu Genişliği			Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**50 mm**	**23 mm**	**27 mm**	
HPL Kaplama	2-30 mm arasında Genel olarak 6-8-10 mm	Literatürde yapılan deneylerde kullanılan aralık: 20-50 mm	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır.	Min. 10 mm olmalıdır. 10 mm'den büyük olan derzlerde, ızgara sistemi uygulanmalı.	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır.	Yangın geciktirici içeren kaplama panelleri B-s1, d0 sınıfı, yangın geciktirici içermeyen paneller D sınıfına kadar düşebilmekte.	**Güneşli Hava; Açık derz:** max. 0,19 m/sn **Kapalı derz:** max. 0,07 m/sn	**Soğuk Hava; Kapalı Derzli:** 0,21 m/sn	**Yaz: Açık derzli ve gece:** 0,1 m/sn ile 0,3 m/sn arasında **Sabah:** 0,9 m/sn'yi aşıyor.	*** Ahşap kaplamanın arkasındaki hava boşluğunda oluşan hava hızı minimum 0,07 m/sn'nin üzerinde olup maksimum 1 m/sn'ye ulaşabilmektedir. Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu literatür araştırmasında maksimum hava akışını 2,43 m/sn olarak bulunmuştur.

Tablo 4.21 Cam kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları	
							Hava Boşluğu Genişliği	Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**20 mm****	
Cam Kaplama	6-8 mm arasında	Olması gereken: minimum 25 mm	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	5-12 mm arasında	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır.	Cam yanıcı değildir, ancak yaklaşık 700 °C'de yumuşamaya başlar.	Yaklaşık 0,3 m/s	*** Kısıtlı bilgi olmasından dolayı hava hızı için maksimum ve minimum değerleri verilememiştir.

Tablo 4.22 Lifli çimento levha kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları					
							Hava Boşluğu Genişliği					Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**13 mm**	**19 mm**	**25 mm**	**50 mm**	**150 mm**	
Lifli Çimento Levha Kaplama	8 mm ile 18 mm arasında	Olması gereken: minimum 20 mm Literatürde yer alan deneylerde kullanılan aralık: 20-50 mm Uygulayıcı firmalar: 20-120 mm Genellikle 80 mm	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	A1	**Soğuk Gün: 1 katlı:** 0,28 m/sn, **2 katlı:** 0,33 m/sn **Sıcak Gün: 1 katlı:** 0,51 m/sn, **2 katlı:** 0,63 m/sn	**Sıcak gün:** 0,57 m/sn	**Sıcak gün:** 0,56 m/sn	**Sıcak gün:** 0,46 m/sn	**Kış günü, Kapalı derz:** Ortalama 0,15-0,20 m/sn	***Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu araştırmada ise minimum ile maksimum değer 0,02–1 m/sn aralığında olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4.23 Seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları		
							Hava Boşluğu Genişliği		Genel Yorum
	Kalınlık	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**40 mm****	**50 mm****	
Seramik Kaplama	15-40 mm arasında	Olması gereken: min. 40 mm max. 120 mm Literatürde yer alan deneylerde kullanılan aralık: 40-60 mm Uygulayıcı firmalar: Genellikle 80 mm	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	10-20 mm arasında	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamamıştır	A1	**Yüksek Güneş Işınımı:** 0,6 m/sn	**Açık derz:** 0,2- 0,25 m/sn arasında	*** Rahiminejad ve Khovalyg'nin yapmış olduğu araştırmada, hava boşluğundaki maksimum hava hızı seramik kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerde 0,6 m/sn'den daha düşük olduğu belirtilmektedir.

Tablo 4.24 Prekast beton panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları	
							Hava Boşluğu Genişliği	Genel Yorum
Prekast beton panel Kaplama	**Kalınlık**	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	Bu konu ile ilgili çalışma bulunamamıştır. Çalışma olmamasından dolayı hava boşluğu hızları ile ilgili bilgiye erişilememiştir.	
	70-160 mm arasında	Olması gereken: Minimum 25 mm	Derzler panel boyunca devam etmekte dir.	min. 10 mm	Derzler panel boyunca devam etmekte	Precast beton panellerde kullanılan malzemelere göre yangın sınıfı değişmektedir.		

Tablo 4.25 Metal panel kaplamalı havalandırmalı giydirme cephe özellikleri

	Kaplama Sistemi Özellikleri						Hava Boşluğunda Hava Hızı Deneyi Sonuçları	
							Hava Boşluğu Genişliği	Genel Yorum
Metal Panel Kaplama	**Kalınlık**	**Hava Boşluğu**	**Derz Uzaklığı**	**Derz Genişliği**	**Derz Sıklığı**	**Yangın Sınıfı**	**50 mm****	*** Kısıtlı bilgi olmasından dolayı hava hızı için maksimum ve minimum değerleri verilememiştir.
	4-10 mm arasında	Olması gereken : minimum 25 mm Genellikle 40 mm tercih edilmektedir.	Bu konu ile ilgili bir kural bulunam amıştır.	Bu konu ile ilgili bir kural bulunamam ıştır.	Bu konu ile ilgili bir kural bulunam amıştır.	Kompozit panellerde kullanılan yalıtım panelin yanıcılığına bağlı olarak kaplamanın yangın sınıfı değişmektedir. A2 sınıfına kadar çıkabilmektedir. Poliüretan ve polistiren malzemenin yanıcılık sınıfı B1olmalıdır.	ortalama 0,15 m/s	

Tablo 4.26 Havalandırmalı giydirme cephe sistemlerinde kullanılan ısı yalıtım malzemeleri özellikleri

Yalıtım Malzemesi	Yangın Sınıfı	Isı İletim Katsayısı	Deforme sıcaklığı	Yangına Tepkisi
Polistiren	XPS: E sınıfı EPS: E ile B1, B2 sınıfları arasında bulunabilir.	XPS: 0,028-0,032 W/mK arasında EPS: 0,035-0,040 W/mK arasında	80°C üzerindeki sıcaklıklar	Kolay bir şekilde yanar, yanarken tehlikeli gazlar çıkarırerir.
Poliüretan	Yangın dayanımı açısında E, F, zor alevlenici B1 ve normal alevlenici B2 sınıfındadırlar.	En düşük 0,021W/mK iken en yüksek 0,04 W/mK.	120°C üzerindeki sıcaklıklar	Fazla duman çıkartarak görünürlüğü azaltır.
Polietilen	Yangına dayanım sınıfında yer almamaktadır. Yanıcı bir yalıtım malzemesidir	Minimum 0,033 W/mK, maksimum ise 0,045 W/mK	120°C üzerindeki sıcaklıklar	Erir ve damlar
Poliizosiyanürat	Zor alevlenici B1 sınıfındadır.	En az 0,018 W/mK, en fazla 0,027 W/mK.	110°C üzerindeki sıcaklıkta.	Erimez ancak kömürleşir ve yerinde kalır.
Fenolik Köpük	Kaplamasız ise B, s2-d0, alüminyum folyo kaplamalı ise C, s2-d0 sınıfındadır.	En düşük 0,022 W/mK iken en yüksek 0,040 W/mK.	150°C üzerindeki sıcaklıklar	Duman ve zehirli gaz oluşumu çok azdır. Kömür formundaki kalıntı uzun süre yanmaya devam edebilmektedir.
Taşyünü	Yanmaz A1sınıfındadır.	En düşük 0,035 W/mK iken en yüksek değer 0,05 W/mK.	250°C üzerindeki sıcaklılar	Yerinde kalır ve yangının ilerlemesine katkıda bulunmaz.
Cam yünü	Yanmaz A1 veya zor yanıcı A2 sınıfındadır.	0,040 W/mK	250°C üzerindeki sıcaklıklar	Yerinde kalır ve yangının ilerlemesine katkıda bulunmaz.

Tablo 4.27 Havalandırmalı giydirme cephelerde su, hava, nem yalıtımı için kullanılan malzemelerin yangın sınıfı ve yangına tepkisi

Yalıtım	Yangın Sınıfı	Yangına Tepkisi
Su yalıtımı	E ile A sınıfı arasında çeşitleri vardır. A ve B sınıfı olan EPDM malzeme kalınlığı minimum 5 mm'den başlamaktadır. Kalınlığı 1 mm'ye kadar inen yangına dayanımlı (A1, A2, B1 sınıfı) EPDM malzemeden olmayan membran çeşitleri mevcuttr.	Yangın sınıfına göre yangın tepkisi değişmektedir.
Hava ve nem yalıtımı	E ile A sınıfı arasında değişiklik göstermektedir. B sınıfı olan ürünlerin damlama ve tutuşturma özellikleri ise s1 d0 olmaktadır.	E sınıfı EPDM membran tamamen tükenene kadar yanar. Piyasada yangın sınıfı E olan membranlar ile ilgili yapılan bir testte yanıcı olmayan bir yalıtımın veya kaplama malzemesinin arkasına yerleştirildiğinde alevlerin yayılmasına katkıda bulunmayacağı sonucu bulunmuştur.

Havalandırmalı giydirme cephe sistemi çok katmanlı bir sistemdir. Malzemelerin yanıcılık sınıfı ve yangına tepkisi, yangının engellenmesi veya durdurulmasında önemli bir etkiye sahiptir. Ancak cephe sisteminin ana tasarım prensibi olan hava boşluğundaki hava akışı, yangının ve dumanın düşey yönde yapının üst katlarına çıkmasında büyük bir rol oynamaktadır. Havalandırmalı giydirme cephe sisteminde hava akışını araştıran çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar hava boşluğu genişliği, kaplama malzemesi çeşitliliği, kaplamalar arasındaki derz sisteminin açık veya kapalı olması ve deneylerin sıcak veya soğuk günde yapılmış olmasına göre değişiklik göstermektedir. Havalandırmalı giydirme cephelerde bulunan hava boşluğunda ki hava akış hızı ile ilgili yapılan deneylerden çıkan hava akış hızı sonuçları her bir kaplama malzemesi için ayrı olmuş ve hava boşluğu genişliği arttıkça hava akış hızı düşmüştür. Ayrıca kapalı derz sistemli hava boşluğundaki hava akış hızının açık derz sistemindeki hava akış hızından genel olarak çok daha yavaş olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmalarda ortam koşullarındaki en ufak değişikliğin bile çok farklı sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. Örneğin; lifli çimento levha kaplamalı bir havalandırmalı giydirme cephe sisteminin 13 mm hava boşluğu ile sıcak ve soğuk gün kapsamında yapılan bir araştırmada hava hızının yaklaşık iki kat değiştiği görülmüştür. 50 mm hava boşluğuna sahip HPL kaplamalı havalandırmalı giydirme cephelerdeki hava hızı deneyleri, derzlerin açık ve kapalı olması farklılığı üzerinden değerlendirilmiş, açık derze sahip cephe sistemindeki hava hızı değerinin kapalı derze sahip cephe sistemine göre yaklaşık üç kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda edinilen bilgilere göre hava akış hızı ile ilgili yapılan çalışmalar ve deneylerin bir standartizasyona dayalı olmadığı sonucu görülmüştür. Deneylerin değişmeyen unsurları cephe kurgusu ve çevre özellikleri olacak şekilde kaplama malzemesinin değiştirilmesine odaklanan bir çalışma bulunamamıştır. Ancak yangın güvenlikli bir havalandırmalı giydirme cephe tasarımında hava akış hızı dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur.

Bu doğrultuda malzemeler arasında tek bir şekilde kıyaslama yapmanın doğru olmadığı sonucu çıkmaktadır. Aynı zamanda malzemelerin her biri için ayrı bir akademik çalışma bulunmamasından dolayı tek bir kaplama türü üzerinden yorum yapmak genel sistemi değerlendirmeyi de güçleştirmektedir. Ancak literatürde hava

hızı ile ilgili bulunan bu deneysel çalışmalar tasarım aşamasında veri olarak kullanılabilinmektedir. Dolayısıyla tasarımcının malzeme ve hava boşluğu genişliği seçimlerinde etkisi olabilmektedir. Bu seçimlerde yol gösterici olması açısından havalandırmalı giydirme cephe sisteminde kullanılan malzemeler, akademik çalışmalardan ve uygulayıcı firmalardan alınan tasarım ve yangın dayanımı bilgileri ile bir araya getirilip tablolaştırılmıştır. Ancak, hem sektörde hem de literatür araştırmalarında hava boşluğunun bir çok genişlik çeşidi olduğunu ve cephede kullanılan malzemelerin yangın dayanım sınıfı bakımında da çeşitliliğin fazla olduğu saptanmıştır.

4.2 Havalandırmalı Giydirme Cephelerde Meydana Gelmiş Yangın Olaylarında Yer Alan Cephe Detaylarının Yönetmeliklerle Kıyaslanarak Değerlendirilmesi

Cephede kullanılan malzeme çeşitliğinin fazla olması tasarımcıyı doğru malzeme seçimi için zorlamaktadır. Bu bağlamda tasarımcı tasarımın yapıldığı ülkenin yangın yönetmeliği kapsamındaki kuralları uygulamalıdır. Ancak kuralların yeterliliği ve yönetmeliğin anlaşılır olması bu bağlamda çok önemlidir.

Havalandırmalı giydirme cephe türleri kullanımının yaygın olduğu ülkelerden; İngiltere, Amerika, Birleşik Arap Emirlikleri, İsveç, Avustralya'nın yangın yönetmelikleri ve Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik maddeleri gerçek zamanlı yangın olaylarındaki binaların tasarım kriterleri ile kıyaslanmış olup, kullanılan malzemeler veya durumlarla ile ilgili bir kural olup olmadığı belirlenmiş ve Bölüm 3'de belirlenen yönetmelik madde numaraları ile karşılaştırılmıştır. Konu ile ilgili kurallar yönetmeliklerde var ise binalarda uygulanan detayların bu maddelere uygun olup olmadığı hakkında belirlemelerde bulunulmuştur (Tablo 4.28). Meydana gelmiş yangın olaylarında ulaşılamamış bilgiler değerlendirmeye tabi tutulmamış ve (-) işareti ile tabloda belirtilmiştir. Yönetmeliklerde olmayan maddeler ise (x) işareti ile belirtilmiştir.

Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olaylarında yer alan cephe detaylarının yönetmeliklerle kıyaslanması

Değerlendirme		Cephe Kaplaması	Isı Yalıtımı	Hava boşluğu genişliği	Yangın Bariyer
1 Water Club Tower		ACM-PE	Polistren	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	2.a	3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4.a
	Uygunluk	x	x	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	-	-	x
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x	-	x
2 TVCC Tower		Ti- zn Alaşım Panel	Polistren (XPS)	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.d, 2.a,	1.d , 3.b	x	4.a
	Uygunluk	x	x	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4.a
	Uygunluk	x	x	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.d,	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	-	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x	-	x

Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olayları ve yönetmelikler (devam)

Değerlendirme		Cephe Kaplaması	Isı Yalıtımı	Hava boşluğu genişliği	Yangın Bariyer
3 Wooshin Golden Suite		ACM-PE	Cam yünü	50 mm	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a	1.a , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	✓	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	✓	-	x
4 Polat tower		ACM-EPS	MW	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a	1.a , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	✓	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	✓	-	x

Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olayları ve yönetmelikler (devam)

Değerlendirme		Cephe Kaplaması	Isı Yalıtımı	Hava boşluğu genişliği	Yangın Bariyer
5 Mermoz Tower		ACM-PE	MW	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a	1.a , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	✓	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	✓	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	✓	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	✓	-	x
6 Tamweel Tower		ACM-PE	PUR	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.c, 2.a	1.c , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	x	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x	-	x

Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olayları ve yönetmelikler (devam)

Değerlendirme		Cephe Kaplaması	Isı Yalıtımı	Hava boşluğu genişliği	Yangın Bariyer
7 Grozny-City Tower		ACM-PE	Plastik Levha	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	2.a	3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	-	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x	-	x
8 Lacrosse Building		Balkon/Cephe:ACM-PE	Yok/ Fiberglass	-	Yok
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	2.a	3.b	x	4
	Uygunluk	x	x/✓	-	x
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	x/✓	-	x
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x/✓	-	x
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	-	-	-
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x/✓	-	x
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x/✓	-	x

Tablo 4.28 Meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olayları ve yönetmelikler (devam)

Değerlendirme		Cephe Kaplaması	Isı Yalıtımı	Hava boşluğu genişliği	Yangın Bariyer
9 Grenfell Tower		ACM-PE	Folyo kaplı PIR	50 mm	Var
İngiltere Yangın Yönetmeliği	**Kural**	2.a	3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	✓
Türkiye Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 1.b, 2.a	1.a, 1.b , 3.b	x	4
	Uygunluk	x	x	-	✓
Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2b, 2.c, 2,d, 3.a	1.a, 1.b , 3.a, 3.b	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	✓
İsveç Yangın Yönetmeliği	**Kural**	x	x	x	x
	Uygunluk	-	-	-	✓
Avustralya Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 3.a	2.a, 3.a	x	4.a, 4.b
	Uygunluk	x	x	-	✓
ABD Yangın Yönetmeliği	**Kural**	1.a, 2.a, 2.b	1.a, 2.a, 2.b, 3.a, 3.b, 3.c	x	4.a, 4.b, 4.c
	Uygunluk	x	x	-	✓

1990 ile 2021 yıllarında meydana gelmiş havalandırmalı giydirme cephe yangın olaylarındaki dokuz binanın cephe tasarım ve uygulama detayları Bölüm 3'te incelenen ülkelerin yönetmelikleri ile Tablo 4.12'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada incelenen binaların cephe detayları yönetmeliklerin hangi maddelerine karşılık geldiği, yönetmelikte bu konularla ilgili bilgi ve kuralların yer alıp almadığı, eğer bir kural yer alıyorsa incelenen binalardaki detayların bu kurallara uyup uymadığı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

İncelenen yapılar, incelenen yönetmeliklerde yüksek katlı yapılar kategorisine girmektedir. Hava boşluğu genişliği ile ilgili bir kısıtlama veya kural mevcut değildir. Yangın bariyeri ile alakalı ise cephede yer alması gereken konum ve yapılarda kullanılması gerektiği ile alakalı kurallar mevcuttur. Aynı zamanda incelemeler kapsamında cephede kullanılan malzemelere yönelik kurallar mevcut olduğu görülmüştür. Ancak cephede yangın güvenliğinin sadece yapı malzemeleri ve yapı elemanları ölçeğinde ele alınmamalıdır.

Uluslararası yönetmelikler kapsamında cephe kaplaması, ısı yalıtımı, yangın bariyeri ile alakalı kurallar mevcuttur. Bu kurallar her bir malzeme türü için uygulanacakları binaların kullanım amacı ve yapının yüksekliğine göre ayrılmıştır. Birleşik Arap Emirlikleri ve Amerika Birleşik Devletlerinin yangın yönetmeliklerinde cephe kaplaması, ısı yalıtımı ve yangın bariyeri konusunda diğer yönetmeliklere göre daha kapsamlı oldukları görülmüştür. İsveç yangın yönetmeliğine göre meydana gelmiş olan yangın olaylarındaki yapıların yüksekliği ve kullanıcı sayısı nedeniyle cephede kullanılan malzeme veya sistemler deneye tabi tutularak değerlendirilmelidir. Yüksek yapılar kapsamına giren bu yapılar için isveç yangın yönetmeliğinde bir kural bulunmamaktadır. Türkiye BYKHY'deki kurallar ise binaların kullanım amacına göre ayrılmamakta ve kurallar sınırlı kalmaktadır. Tüm yönetmeliklerde hava boşluğu genişliği ile ilgili bir kısıtlama veya kural mevcut değildir. Yangın bariyeri ile alakalı ise cephede yer alması gereken konum ve yapılarda kullanılması gerektiği ile alakalı kurallar mevcuttur.

Ayrıca yapılan bu incelemelerde havalandırmalı giydirme cephelerde meydana gelen yangın olaylarındaki yapılarda kaplama malzemesi, yalıtım malzemesi ve yangın bariyeri kapsamında yönetmelik kurallarına uyulmadığı yada Lacrosse building, Grenfell tower, Mermoze Tower ve Wooshin Tower'da olduğu gibi kısmi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Yangın olayı, yaralanmalara, can kayıplarına ve büyük maddi kayıplara sebebiyet verebilen, yapıyı ve kullanıcıları kısa sürede etkisi altına alan bir afettir. Özellikle yüksek katlı ve giydirme cepheli yapılarda yangının cephe boyunca kısa sürede hızla yayılması yapı ve kullanıcılar açısından tehlike oluşturmaktadır. Son yıllarda, Grenfell Tower (2017) ve Lacrosse (2014) binalarında gerçekleşen yangınlar gibi büyük yangınlar başta olmak üzere cephe yangınlarının çoğunun havalandırmalı giydirme cephelerde meydana gelmesi ve tehlikeli sonuçlar doğurması bu tür havalandırmalı giydirme cephelere sahip binaların cephe tasarımında yangın güvenliği açısından eksiklikler olduğunu ortaya koymaktadır.

Yapıda yangın oluşumu tamamen engellenememekte fakat bu konuda gerekli önlemler alındığında yangının meydana gelme oranı ve olası hasarlar büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Bu önemlerin alınabilmesi için temel nokta olarak havalandırmalı giydirme cephe katmanlarının iyi bir şekilde tanımlanması ve bu cephelerde yangın yayılım dinamiğinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Geçmiş yangınların ve deneysel çalışmaların incelenerek yangın oluşum nedenlerinin detaylı bir şekilde ortaya konması, deneysel olarak yapılan akademik çalışmalarda elde edilen sonuçların meydana gelen yangınlarla örtüştürülerek sonuçların çevresel etkiler altında yapılarda ne tür değişkenler gösterdiğinin belirlenmesi, ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde konu ile ilgili yer alan kuralların neler olduğunun analiz edilmesi tasarım ve uygulama aşamasında alınacak önlemler açısından önem taşımaktadır.

Havalandırmalı giydirme cephe çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Temel olarak iki kademeden oluşmaktadır. İlk kademe cephe kaplamasıdır. İkinci kademede ise, cephe kaplamasından itibaren hava ve nem bariyeri, su bariyeri ısı yalıtım malzemesi ve bina dış duvarı şeklinde tasarlanmaktadır. Sistem bu iki kademeyi birbirinden ayıran bir hava boşluğuna sahiptir. Bu hava boşluğu sürdürülebilirlik açısından birçok fayda sağlamasına rağmen yangın esnasında büyük risklere sebep

olmaktadır. Bu bağlamda yangın yayılımının dinamiğini ve değişkenlerini belirlemek önemlidir.

Çalışma kapsamında incelenen havalandırmalı giydirme cephelerde yapılan deneysel çalışmalarda yangın yayılım dinamiğinin ve değişkenlerinin;

- Hava boşluğu genişliğine,
- Yangın bariyeri kullanımına ve konumuna,
- Cephe kaplama malzeme özelliklerine,
- Isı yalıtım malzemesi özelliklerine,
- Yangının gücüne (deneylerde brülör gücü),
- Çevre koşullarına (rüzgar vb),

bağlı olduğu belirlenmiştir. İncelenen akademik çalışmalarda da görüldüğü üzere bu çalışmalar yapıldıkça havalandırmalı giydirme cephe sistemiyle ilgili ilk yapılan çalışmalarda belirli detaylar önemli görülmezken, daha sonraki yapılan çalışmalarda önemsiz olarak değerlendirlen detayların da yangına etkisinin aslında önemli olduğu görülmüş ve mevcut çıkan yangınlar doğrultusunda konunun bir bütün olarak ele alınması gerektiği anlaşılmıştır.

Deneylerden elde edilen yagın dinamikleri ve değişkenleri kapsamında, meydana gelen dokuz adet yangın olayı ve deneysel çalışmalarda yangın ilerleme hızı ve yayılımı kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırma ile deney sonuçlarının, yangının ilerleme hızı ve yayılımı ile ilgili olarak meydana gelen yangınlar ile örtüşmediği sonucuna ulaşılmıştır.

İncelenen deneyler ve meydana gelen yangın olayları karşılaştırıldığında, deneylerde yangın yayılım dinamiğini ve hızındaki farklılığı etkileyen unsurların;

- Deney düzeneklerinin geometrik yapısı,
- Malzemenin montaj şekilleri,
- Malzeme çeşitliliği,
- Yangın bariyerleri arasındaki mesafe,
- Düzeneğin bulunduğu çevresel koşullar,
- Deneyde kullanılan brülör özellikleri,
- Derz düzeneğindeki farklılıklar,
- Deney düzeneklerinin ölçeği,

- Alevlerin boşluktaki konumu,

şeklinde olduğu tespit edilmiştir. İncelenen deneyler ile meydana gelen yangınlardaki cephe katmanlarının farklı olduğu gözlemlenmiştir. Meydana gelen yangınlardaki cephelerde; kaplama malzemesi, ısı yalıtım malzemesi, yangın bariyeri dışında birçok katman vardır. Bu katmanlar (membran, ankraj vb) minör olarak görülseler de ısı iletimi ve ikincil yangın çıkarmada aktif rol oynayabilirler. Diğer bir etken ise deney düzeneğinin yan taraflarının kapatılmasıdır. Bu durum gelen hava akışını kısıtlamak için önemli bir etken olup yangının ana unsurlarından biri olan oksijen miktarının cepheye girişini kontrol etmektedir. Oksijenin cepheye bir başka giriş şekli ise cephe kaplamasında bulunan derz boşluklarıdır. Bu boşlukların kısıtlanmış veya kısıtlanmamış olması cepheye giren oksijen miktarını kontrol etmektedir. Deneylerin yapıldığı mekânın ve hava koşullarının yangının yayılımı konusunda etkisi büyüktür. Gerçek zamanlı yangınlarda olay esnasındaki rüzgâr şiddeti ve yönelimi alevlerin yönünü ve hızını değiştirebilmektedir. Cephe geometrisi de yangın yönelimini etkilemekte ve arttırabilmektedir. Hava boşluğunun doğru konumlardan bölümlendirilmesi yangının ilerleyişini yavaşlatabilir veya tamamıyla durdurabilmektedir. Aynı zamanda, bazı test standartlarında deney düzeneklerinin gerçek cephe ölçeğindeki kat yüksekliklerileyle yapılmaması meydana gelen yangınlarla karşılaştırıldığında yayılım hızında görülen farkları açıklamaktadır.

Havalandırmalı giydirme cephe sistemi kapsamında, meydana gelmiş gerçek zamanlı cephe yangınları ve yapılan yangın deneylerinin incelenmesinde ve karşılaştırmasında belirlenen bu maddelere göre farklı havalandırmalı giydirme cephe türleri incelenmiştir. Yapılan sektör araştırmalarında ve literatür kaynaklarında havalandırmalı giydirme cephelerde kaplama malzemesinin çeşitliliğine göre hava boşluğunda çeşitlilikler olduğu görülmüştür. Bu çeşitliliğin sebebinin ise, cephe malzemesinin statik yükü veya kaplama malzemesinin yapısı nedeniyle oluşan montaj farklılıklarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde yangının beslenmesi için, oksijen miktarının, hava hareketinin ve yakıtın önemi görülmektedir. Havalandırmalı giydirme cephelerde yangın dinamiğinde hava boşluğunun oksijen miktarı ve hava hareketi için önemli bir etkiye sahip olmasından dolayı, hava boşluğu genişliğinin çeşitli olmasının önemli

olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda farklı kaplama malzemelerine sahip havalandırmalı giydirme cephelerde yapılan hava boşluklarında oluşan hava hızları ile alakalı akademik araştırmalar incelenmiş ve etkileri saptanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmalar hava boşluğu genişliği, kaplama malzemesi çeşitliliği, kaplamalar arasındaki derz sisteminin açık veya kapalı olması ve sıcak veya soğuk günde yapılmış olmasına göre değişiklik göstermektedir. İncelemelerde çıkan sonuç her bir kaplama malzemesi için ayrı olmuş ve hava boşluğu genişliği arttıkça hava akış hızı düşmüştür. Ayrıca kapalı derz sistemlerindeki hava boşluğundaki hava akış hızı açık derz sistemindeki hava akış hızından genel olarak çok daha yavaş hareket ettiği görülmüştür. Ancak bu çalışmalarda ortam koşullarındaki en ufak bir değişkenin bile çok farklı sonuçlar çıkardığı tespit edilmiştir. Hava boşluğunda oluşan hava akışı yangının düşey olarak yapının üst katlarına çıkmasında büyük bir rol oynadığından, tasarım aşamasında hava boşluğu genişliğine karar verilirken elde edilen bu değişkenlerin ve sonuçların dikkate alınması önem taşımaktadır.

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda edinilen bilgilere göre aynı çevre özellikleri ve aynı cephe kurgusunu kullanan ancak kaplama malzemesini değiştirerek alternatif konfigürasyonların karşılaştırılmasına odaklanan bir çalışma bulunamamıştır. Havalandırmalı giydirme cepheler kapsamında hava akış hızı ile ilgili yapılan çalışmalar ve deneyler belirli bir standardizasyona dayalı değildir. Bu doğrultuda malzemeler arasında tek bir şekilde kıyaslama yapmanın doğru olmadığı sonucu çıkmaktadır. Aynı zamanda malzemelerin her biri için ayrı bir akademik çalışma bulunmamasından dolayı tek bir kaplama türü üzerinden yorum yapmak genel sistemi değerlendirmeyi de güçleştirmektedir. Ancak literatürde hava hızı ile ilgili bulunan bu deneysel çalışmalar tasarım aşamasında veri olarak kullanılabilmektedir. Dolayısıyla tasarımcının malzeme ve hava boşluğu genişliği seçimlerinde etkisi olabilmektedir.

Yapılan sektör ve literatür araştırmalarında hava boşluğu genişliğinin ve cephe de kullanılan malzemelerin yangın dayanım sınıfı bakımında çeşitliliğinin fazla olduğu görülmüştür. Yangın dayanımlı cephe tasarımı için tasarımcı, doğru hava boşluğu genişliği ve doğru malzeme seçimi için tasarımın yapıldığı ülkenin yangın yönetmeliği kapsamındaki kuralları uygulamalıdır. Bu bağlamda, yönetmeliklerin yeterliliği ve anlaşılır olması çok önemlidir.

Yangın yönetmeliklerinin tasarımcıya ve uygulayıcıya yol gösterici olması beklenmektedir. Bu amaçla havalandırmalı giydirme cephe türü kullanımının yaygın olduğu ülkelerden; İngiltere, Amerika, Birleşik Arap Emirlikleri, İsveç ve Avustralya'nın yangın yönetmelikleri ile Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'te havalandırmalı giydirme cephelerle ilgili olan maddeler bulunarak bir araya getirilmiştir.

İncelenen yönetmeliklerin, tüm cephe türleri ile ilgili genel kurallardan oluştuğu görülmüştür. Bu yönetmeliklerde havalandırmalı giydirme cephelerle ilgili olarak özel maddelerin bulunması tasarımcı ve uygulayıcılar açısından zor olmaktadır. Bu nedenle yönetmeliklerde cepheler ile ilgili bulunan genel maddelerden havalandırmalı giydirme cepheye uygun olabilecek bölümlerin üretimde ve tasarımda kullanılması yangın güvenlikli cephe tasarımı açısından önemlidir ancak yeterli değildir. Birleşik Arap Emirlikleri Yangın Yönetmeliği ve Amerika Birleşik Devletleri Yangın Yönetmeliği malzeme ve tasarım konusunda diğer yönetmeliklere göre daha geniş bir kapsama sahiptir. Bu yönetmeliklerde cephe malzemeleri ve ısı yalıtım malzemelerinin yanı sıra cephede hava, nem, su yalıtımında kullanılacak malzemeler hakkında da ayrıntılı bilgi verilmiştir. Ancak incelenen tüm yönetmeliklerde havalandırmalı giydirme cepheler ile alakalı birebir maddeler açıkça belirtilmemektedir. Bu durum ise tasarımcıları alacakları kararlar yönünde zorlamakta ve yangın güvenlikli cephe tasarımı bakımından yanlış kararların verilerek olası yangınlarda yangının cephe üzerinde daha hızlı ilerlemesine sebebiyet verebilmekte ve can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

Bu bağlamda havalandırmalı giydirme cephelerde meydana gelmiş gerçek zamanlı yangın olayları ve incelenen yönetmelikler doğrultusunda kapsamlı bir karşılaştırma tablosu yapılmıştır. Yönetmelik kuralları ile yapıların tasarımı ve malzeme seçimleri arasında tam bir uyum olması gerektiği, kurallara uyulmaması durumunda yangın çıkmasının kaçınılmaz olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu tabloda ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde hava boşluğu genişliği ile alakalı bir madde bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu durum ise cephe tasarımında hava boşluğu genişliği seçilirken yangın konusunun göz ardı edilmesine sebebiyet verebilmektedir.

Ulusal ve uluslararası yönetmelikler, yapılan deneyler ve meydana gelen yangın olaylarının karşılaştırmasından elde edilen bulgular doğrultusunda yangına dayanımlı havalandırmalı giydirme cephe tasarımında dikkat edilmesi gereken ve yönetmeliklerde düzenlenmesi gereken unsurlar maddeler halinde toplanmış ve öneriler sunulmuştur.

Havalandırmalı giydirme cephe tasarımı kapsamında maddeler ve öneriler dört ana başlıkta toplanmıştır.

1. Hava akış hızı ile ilgili yapılan test çalışmalarına belirli standartların getirilmesi.

Hava boşluğunda oluşan hava akış hızının belirlenmesi içinaynı çevre özellikleri ve aynı cephe kurgusunu kullanan ancak kaplama malzemesini değiştirerek alternatif konfigürasyonların karşılaştırılmasına odaklanan bir çalışma yapılmalı ve bu durum her deney için standart hale getirilmeli ve sonuçları yangın yönetmeliklerine veya test standartlarına eklenmelidir. Bu standartlar doğrultusunda cephe malzemeleri ve çevre koşulları bütüncül bir şekilde ele alınmalıdır.

2. Havalandırmalı giydirme cephede yangın yayılımı ile ilgili yapılan deneylere belirli standartların getirilmesi.

Yangın deneylerinin kapsamı ve parametreleri genişletilerek yapıya özgü riskli görülen detayların bütüncül bir şekilde tüm malzemeler ile test edilmesi, deneyler esnasında rüzgâr ve farklı hava koşulları gibi çevresel etkenlerin simülasyonlarının yapılması çıkan sonuçlara göre daha sağlıklı yangın güvenlik önlemlerinin alınmasını sağlayacaktır.

3. Tasarımda yangın bariyeri ve cephede kullanılan malzemelerin ilişkisinin anlaşılması.

Yangın bariyerleri, cephenin performansını etkilemeden havalandırılan boşluğun normal koşullarda düzgün çalışmasına izin verecek şekilde tasarlanmalıdır. Hava boşluğunu bölümlendirme amacı ile yapılan bu kompartımanlama sisteminde kullanılan yangın bariyerleri, boşlukta düşey ve yatay olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Düşey yangın bariyerleri tüm sistem boyunca kesilmeden devam ederken aralarına yatay yangın bariyerleri yerleştirilmelidir. Yatay yangın

bariyerleri her katta olacak şekilde döşeme önünde konumlandırılmalı ve düşey bariyer ile arasında boşluk olmamalıdır. Yangın bariyerlerinin işlevini tam anlamıyla gerçekleştirmesi için diğer malzemeler ile uyum içinde olmalı ve doğru konumlandırılmalıdır. Ancak yangın bariyerlerinin alevi bir bölgeye hapsedebilmesi ve görevini yapabilmesi için herhangi bir boşluk ve kaçış alanı yaratmamak amacıyla kaplama malzemesinin de yanmaz malzemelerden olması gerekmektedir. Yanıcı ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması ise yangının yayılmasını ve yoğunluğunu önemli ölçüde artırmakta ve risk seviyesini yükseltmektedir. Dolayısıyla, cephede yangın esnasında birbirini tetikleyerek hava boşluğunu genişletecek veya yangın yayılımını arttıracak şekilde malzeme seçimi yapılmamalıdır. Yangın bariyeri seçimi ve konumlandırılmasında cephenin diğer malzemeleri ile bütüncül bir yaklaşım düşünülmelidir.

4. Yangına dayanımlı havalandırmalı giydirme cephe sistemi oluşturulurken kullanılan malzemelerin yangına tepki sınıfına dikkat edilmesi.

Malzemelerin yanıcılık sınıfı ve yangına tepkisi, yangının engellenmesi veya durdurulmasında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle binanın yapılacağı bölgenin çevresel koşullarına uyumlu, olası bir yangında yangın yayılımını desteklemeyecek malzemelerin tasarım aşamasında seçilmesi ve sahada bu malzemelerin uygulamasının doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Yangın yönetmeliklerinin düzenlenmesi kapsamında maddeler ve öneriler üç ana başlıkta toplanmıştır.

1. Yangın yönetmeliklerine hava boşluğu genişliği ile ilgili maddelerin eklenmesi.

Yangın yönetmeliklerinde hava boşluğu genişliği ile alakalı maddelerin olmaması tasarım aşamasında hava boşluğu genişliğiyle alakalı verilen kararlarda yangın konusunun göz ardı edilmesine sebebiyet verebilmektedir. Yapılan akademik çalışmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda havalandırmalı giydirme cephe sisteminde kullanılan farklı kaplama malzemelerini göz önünde bulundurarak bir standart hava boşluğu aralığı verilmesi yangına dayanımlı havalandırmalı giydirme cephelerin tasarımında daha kontrollü ilerlemesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Ancak bu durum, havalandırmalı giydirme cephe tasarımı

kapsamında maddeler ve öneriler bölümündeki madde 1 ve 2'yi sağlayan koşullar doğrultusunda yapılan deneyler aracılığıyla belirlenmelidir.

2. Yangın yönetmeliklerinde hava boşluğu tasarımı ile alakalı daha kapsayıcı maddelere ve açıklayıcı anlatıma yer verilmesi.

Yönetmeliklerde havalandırmalı giydirme cephe sistemine ait hava boşluklarının ayrı bir başlık altında incelenmesi veya belirgin bir şekilde giydirme cephelerde bulunan pencere gibi açıklıkların çevresindeki boşluklardan farklı olduğunun belirgin bir şekilde ifade edilmesi projenin tasarım ve kontrol aşamalarında oluşabilecek karışıklıkları engelleyecektir. Aynı zamanda hava boşluğunda kullanılan yangın bariyerlerinin kullanılması gereken konumlar hakkında görsel şekillendirmeler ile desteklenmesi anlaşılmasını kolaylaştıracak ve oluşabilecek karışıklıkları engelleyecektir.

Bununla birlikte hava boşluğunda oluşan hava akış hızı ile ilgili yönetmelikler kapsamında standart haline gelmiş deneyler yapılmalı ve her kaplama malzemesine yönelik maddeler yangın yönetmeliğine eklenmelidir. Yangın yönetmeliklerinde cephe türleri ile alakalı ayrı başlıklar oluşturulmalı ve her bir cephe katmanının değerlendirmesi bu başlıklar altında verilmelidir. Bu deney düzeneklerinin ise havalandırmalı giydirme cephe tasarımı kapsamında maddeler ve öneriler kısmında yer alan madde 1'deki koşullar doğrultusunda yapılmasının daha sağlıklı sonuçlara götüreceği düşünülmektedir.

3. Yangın yönetmeliklerinde cephe türleri ile alakalı ayrı başlıkların oluşturulması ve her bir cephe katmanının değerlendirmesinin bu başlık altında verilmesi.

Her cephe türü için ayrı başlık açılması ve her cephe tipi için kullanılan her bir malzemenin alt başlıklar altında incelenmesi tasarım aşamasında karışıklıları engelleyecek ve kolaylaştıracaktır. Özellikle havalandırmalı giydirme cepheler gibi çok katmanlı cephelerde her bir malzemenin (cephe kaplama katmanı, nem/hava yalıtım katmanı, ısı yalıtım katmanı, su bariyeri katmanı) kendine ait bir başlık altında incelenmesinin, kullanılacak malzemelerin özelliklerinin havalandırmalı giydirme cephe kapsamında ayrıştırılarak sunulmasının veya ilgili maddeye yönlendirme yapmasının yangın dayanımlı cephe kapsamında yanılgıları ve atlanan unsurları en aza indireceği düşünülmektedir.

Tüm bu öneriler ve değerlendirmeler kapsamında havalandırmalı giydirme cephe tasarımında cephenin bütüncül olarak ele alınması, tüm çevresel faktörlerin düşünülmesi, yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonuçlarının değerlendirilerek buralardan elde edilen verilerin kullanılabilir duruma getirilmesi, geçmiş yangınlardan çıkarımlar yaparak ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki maddelerin arttırılması ve daha açık hale getirilmesi, doğru malzeme seçimi ve doğru kompartımanlama detay çözümü yangın güvenlikli tasarımın doğru bir şekilde yapılması açısından önem taşımaktadır.

Çalışmanın bu haliyle yasa belirleyicilere, akademisyenlere tasarımcılara ve uygulayıcılara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

ABAA. (n.d.). *Air and water-resistive barrier material evaluation.* Erişildi (Ocak 12, 2023), https://www.airbarrier.org/air-and-water-resistive-barrier-material-evaluation/

Abc News. (n.d.). *Lacrosse apartment owners win 5.7 million cladding fire damages.* Erişildi (2022, Haziran 20), https://www.abc.net.au/news/2019-02-28/lacrosse-apartment-owners-win-5.7-million-cladding-fire-damages/10850

Ahmed, A. M. M., Mohamed, A. F., & Ahmed, M. R. (2021). Improving the fire performance of high rise buildings facade with nano thermal insulation materials. *Journal Of Al-Azhar University Engineering Sector*, 16(58), 22-33. https://jaes.journals.ekb.eg/article_141222.html.

Akıncı, H. (2007). *Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri* [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi]. Sakarya University Campus Repository. https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/81269

Akelçi, B. (2016). *Kentsel dönüşüm kapsamında dıştan ısı yalıtım uygulamalarının irdelenmesi.* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Campus Respository. http://hdl.handle.net/11527/14352

Alemdağ, E. L., & Nohut, D. Ö. (2016, Haziran 2-3). *Bina cephelerinde titanium çinko levha uygulamaları* [Conference presentation abstract]. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniveristesi, Fındıklı, Türkiye. http://catider.org.tr/pdf/sempozyum8/10-bına-cephelerınde-tıtanyum-cınko-levha.pdf

Alkazar. (2012, Agustos 17). *Polat tower yangını cdf modellemesi* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=RpaI8Fu4Ojk

Alpert, R.L., & Ward, E.J. (1984). Evaluation of unsprinklered fire hazards. *Fire Safety Journal*, 7(2), 127–143. https://doi.org/10.1016/0379-7112(84)90033-X

Alluwall. (2020). *Kompak Laminat Paneller* [PowerPoint slides]. Alluwal Yapı Market Sanayi. http://www.aluwall.com/pdf/Kompakt_Laminat_Paneller.pdf

Altınay, G. (2011). *Beton esaslı prekast cephe panellerinin üretimi, uygulaması, yapısal performansının değerlendirilmesi ve bir alan araştırması ile incelenmesi.* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Campus Respository. http://hdl.handle.net/11527/8122

Aliva. (n.d.). *Ali glass s system with vanished fixings for glass rainscreen system*. Erişildi, (Kasım 5, 2022), https://www.aliva.it/systems/ali-glass-s_7/

AlSamarai, M. (2016, Aralık 11-13). *Maintenance, sustainability & fire performance of cladding: an overview*. [Conference presentation abstract]. 14th International Operations & Maintenance Conference in the Arab Countries, Jeddah, Suudi Arabistan. http://exicon.website/uploads/editor/Omaintec2016/Presentations.pdf

American Architectural Manufacturers Association. (2014). *AAMA 508-14 Voluntary Test Method and Specification for Pressure Equalized Rain Screen Wall Cladding Systems.* https://codehub.building.govt.nz/resources/aama-508-14/

American Architectural Manufacturers Association. (2014). *AAMA 509-14 Voluntary Test and Classification Method For Drained and Back Ventilated Rain Screen Wall Cladding Systems.* https://codehub.building.govt.nz/resources/aama-509-14/

Anderson, J.M., & Gill, J.R., (1988). *Rainscreen Cladding: A Guide to Design Principles and Practices*. Construction Industry Research and Information Association.

Antonatus, E. (2013, Kasım 29). *Fire safety of etics with eps material properties and relevance for fire safety during transport, construction and under end use conditions in external thermal insulation component systems* [Conference presentation abstract]. MATEC Web of Conferences 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Ludwigshafen, Germany. http://www.matec-conferences.org

Approved Document B Volume 1. (2022). Dwellings, Fire Safety, England. https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b

Approved Document B Volume 2. (2022). Buildings other than dwellings, Fire Safety, England. https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b

AGS Metal. (n.d.). *Seramik cephe sistemleri*. Erişildi (Aralık 20, 2022), https://www.agsmetal.com/tr/sistemler-seramik-cephe-sistemleri-19.html

Architecture Today. (n.d.). *Designing and specifying glass rainscreen facades*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://architecturetoday.co.uk/specifying-robust-glass-rainscreen

Arge Yapı İzolasyon. (n.d). *Isı yalıtım malzemeleri*. Erişildi (Ocak 5, 2023), https://www.argeyapiizolasyon.com/isi-yalitim-malzemeleri

Arsenault, P. J. (2014). Combination air and water-resistive barriers in exterior walls. *Architectural Record*, 202(11), 184-187. https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/archives/backissues/2014-11.pdf?1646944761

Arsenault, P. J. (2018). Stunning facades with sintered stone. *Architectural Record*, 206(5),168-169.https://digital.bnpmedia.com/may 2018?m=39080&i=491

Arsenault, P. J. (2021). High-pressure laminates in rainscreen façade. *Architectural Record*, 209(2), 107. https://digital.bnpmedia.com/publication/?m=39080&i=690952&p=8&ver

Arslan, M. A., & Aktaş, M. (2018). İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320. https://doi.org/10.2339/politeknik.407257

Arpacıoğlu, Ü. T. (2004). *Yangın olgusu ve yüksek yapılarda yangın güvenliği* [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Fındıklı Campus Repository. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/212087

Atasoy, Z. B. (2012, Agustos 3). Polat tower'daki yangın neden çıktı?. *Arkitera*. https://www.arkitera.com/haber/polat-towerdaki-yangin-neden-cikti/

Avenere Cladding. (n.d.). Rainscreen Principles. Erişildi (Mart 20, 2022), https://u.realgeeks.media/yourrealtydreams/pdf/Leaky-Condo-Rainscreen_Principles.pdf

Axis Cephe. (n.d.). *Kanallı (Zicof) Sistem*. Erişildi (Kasım 3, 2022), http://www.axiscephe.com/Kanall%C4%B1-Zicof-Sistem/

Babrauskas, V. (2018). The Grenfell Tower Fire and Fire Safety Materials Testing. *Fire Engineering*, (171)1, 43-44, 46-48. https://digital.fireengineering.com/fireengineering/201801/MobilePagedArticle.action?articleId=1306692#articleId1306692

Badrock, G., & Bryant, R. (2014). *Post incident analysis report* (Report No. 1403134A). Metropolitan Fire and Emergency Services Board. https://www.ife.org.uk/write/MediaUploads/Incidendirectory/Lacrosse

Badrock, G. (2016 Mayıs 4) *Post incident analysis report: Lacrosse Docklands 25 november 2014* [Conference presentation abstract]. 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades MATEC Web of Conferences, Melbourne, Avustralya. https://doi.org/10.1051/matecconf/20164606002

Balıkçı, B. (2020). *Opak, inorganik cephe kaplama malzemeleri ve uygulama yöntemlerinin bina enerji performansına etkileri* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Campus Repository.

Bisby, L. A. (2018). *Grenfell Tower Public Inquiry, Draft Phase 1 - Expert Report.* Grenfell Tower Enquiry. https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk

Bohur, E. (2005). *Yapı Elemanlarında iç mekan kaplamaları özelinde bileşen karşılaştırma ve seçim sistemi önerisi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Compus Repository. http://hdl.handle.net/11527/8622

Bonner, M., & Rein, G. (2018). Flammability and multi-objective performance of building façades: towards optimum design. *International Journal of High-Rise Building*, 7(4), 363-374. https://doi.org/10.21022/IJHRB.2018.7.4.63

Bonner, M., Wegrzynski, W., Papis, B. K., & Rein, G. (2020). KRESNIK: A top-down, statistical approach to understand the fire performance of building facades using standard test data. *Building and Environment*, 169(1),1-10. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106540.

BRE Global Ltd. (2019). *Ministry of housing, communities and local government final research report, fire performance of cladding materials research-appendix a literature review, building research establishment*, (Publication No. P111324-1019(M9D12V1). Ministry of Housing, Communities and Local Government https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/877514/MHCLG_CCZZ17A36_Final_Research_Report_Appendix_A_P111324-1019_D12V1_.pdf.

Brn İzolasyon**.** (n.d.). *Epdm membran*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://brnizolasyon.com/urun-epdm-membran-1591.html

BRR 29. (2021). *Boverket´s building regulations Code, Swedish National Board of Housing, Building and Planning's Building Regulations,* Sweden. https://www.boverket.se/en/start/building-in-sweden/swedish-market/laws-and-regulations/national-regulations/building-regulations

Canadian Masonry Contractors Association. (n.d.). *Structural Details.* Erişildi (Aralık 25, 2022), https://www.masonrybc.org/structural/details

Chapman, A. (2018, Ocak 14). Grenfell Tower: the government's responsibility for the fire. *The River of Life*. http://theriveroflife.com/2018/01/14/grenfell-tower-the-governments-responsibility-for-the-fire/

Chen, T., Yuen, A., Yeoh, G., Yang, W., & Chan, Q. (2019). Fire risk assessment of combustible exterior cladding using a collective numerical database. *Fire*, 2(1), 1-14. https://doi.org/10.3390/fire2010011.

Chown**,** G.A., Brown, W.C., & Poirier, G.F. (1997). *Evolution of wall design for controlling rain penetration.* NRC Institute for Research in Construction. https://doi.org/10.4224/40002861

Clapperton, D., Yannettin, B., Pinkham, A., & Boyer, D.K. (2006*). Understanding the Rainscreen Principle* [White Paper]. Metal Construction Association. https://metalconstruction.org/index.php/online-education/understanding-rain-screen-wall-systems

Čolić, A., & Pečur, I. B. (2020). Influence of horizontal and vertical barriers on fire development for ventilated façades. *Fire Technology*, 56(4), 1725–1754. https://doi.org/10.1007/s10694-020-00950-w.

Colwell, S., & Baker, T. (2013). *Fire performance of external thermal insulation for walls of multistorey buildings, third edition*. BRE Trust. https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk/CEL00003364_BR%20135%20Third%20Edition20Fire%20performance%20of%20external%20thermal%20insulation%20for%20walls%20of%20multistory%20buildings._0.pdf

Cupapizarras. (n.d.). *What is rainscreen cladding system and what are the advantages? Cupapizarras Facade Company.* Erişildi (Şubat 3, 2022), https://www.cupapizarras.com/int/news/what-is-rainscreen-cladding-advantages

Çalışkan, M., & Korkmaz, E., (2023). Havalandırmalı Giydirme Cephe (Rainscreen) Sistemlerinde Yangın Yayılımının Deneysel Çalışmalar ve Gerçek Olaylar Üzerinden Karşılaştırılması. *Kent Akademisi Dergisi*, 16(1), 632-661. https://doi.org/10.35674/kent.1189291.

DCLG Test 1. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 1* (Report No. B137611-1037 DCLG test 1). BRE Global Ltd. https://www.gov.uk/government/publications/fire-test-report-dclg-bs-8414-test-no1

DCLG Test 2. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 2* (Report No. B137611-1037 DCLG test 2). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/648790/DCLGtest2_BS_8414_Part_1_test_report_Issue1.2.pdf

DCLG Test 3. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 3* (Report No. B137611-1037 DCLG test 3). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/648791/DCLGtest3_BS_8414_Part_1_test_report_Issue1.2.pdf

DCLG Test 4. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 4* (Report No. B137611-1037 DCLG test 4). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/641617/DCLGtest4_BS_8414_Part_1_test_report_Issue1_2.pdf

DCLG Test 5. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 5* (Report No. B137611-1037 DCLG test 5). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/648793/DCLGtest5_BS_8414_Part_1_test_report_Issue_1.2.pdf

DCLG Test 6. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 6* (Report No. B137611-1037 DCLG test 6). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/648794/DCLGtest6_BS8414_Part_1_test_report_Issue_1.1.pdf

DCLG Test 7. (2017). *BS 8414-1:2015 + A1:2017 test referred to as DCLG test 7* (Report No. B137611-1037 DCLG test 7). BRE Global Ltd. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/648796/DCLGtest7_BS8414_Part_1_test_report_Issue_2.1.pdf

Dinamik. (n.d.). *XPS ısı yalıtım levhaları*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://dinamik-izmir.com/metin.aspx?ID=62&REF=163

Dosne, R. (2021). Un air de tour infernale à Roubaix. *Retour D'experience*, 486(1), 35-38. https://docspike.com/downloadFile/un-air-de-tour-infernale-a-roubaix-r_pdf?preview=1

Deutsche Steinzeug America Inc (2010). *Understanding the rain screen principle* [WhitePaper].DSA.http://sweets.construction.com/swts_content_files/51554/371225.pdf

Dryvit. (n.d.). *Air/water/vapor barriers flashing*. Erişildi (Haziran 2, 2022), https://www.dryvit.com/products/airwatervapor-barriers-flashing/

Dunstan, J. (2019, Şubat 28). Lacrosse apartment owners awarded $5.7 million in damages after flammable cladding blaze. *Abc News*. https://www.abc.net.au/news/2019-02-28/lacrosse-apartment-owners-win-5.7-million-cladding-fire-damages/10857060?utm_campaign=abc news web&utm_content=link&utm_medium=content shared&utm_source=abc news web

Effisus Building Materials, (2021, Nisan 6). *Facade interfaces weatherproofing – epdm still an alternative?* https://effisus.com/en/2021/04/06/facade-interfaces-weatherproofing-epdm-still-an-alternative

Empis, C. A. (2010). *Analysis of the compartment fire parameters influencing the heat flux incident on the structural facade*. [Doktora tezi, The University Of Edinburgh]. ERA Campus Respository. http://hdl.handle.net/1842/4188

EMR. (2021). *Market report historical and forecast market analysis*. Expert Market Research. https://www.expertmarketresearch.com/reports/facade-market

Eşsiz, Ö., & Ekinci, S. (2004, Nisan 3-4). *Metal cephe kaplamalarının dünden bugüne gelişimi* [Conference presentation abstract]. Çatıder Çatı Cephe Fuarı, İstanbul, Türkiye. http://catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_016.pdf

ETA European Technical Assessment. (2016). *Instituto de Ciencias de la Contruccion Eduardo Torroja*. Instituto de Ciencias de la Construccion Eduardo Torroja. https://dit.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2018/11/ETA-TRADITERM-FLEXIBLE-160760.pdf

Farrelly, L. (2017). *Mimarlıkta yapım ve malzeme* (2. Basım). Literatür Yayınları.

Faudzi, B. M., & Dodd, S. (2021). Qualitative assessment of fire hazard posed by laminated glass balcony balustrades on fire spread. *Fire Technology*, 57(4), 1951-1967. https://doi.org/10.1007/s10694-020-01085-8.

Fechino, S. (2019, Agustos 7). The two types of rainscreen wall system design. *The Construction Specifier.* https://www.constructionspecifier.com/the-two-types-of-rainscreen-wall-system-design/

FFSA. (n.d.). *Wooshin Golden suites in Busan*. Erişildi (Haziran 10, 2022), https://gcoe.tus-fire.com/eng/ffsa/cat50.html

Fire Engineering. (n.d.). *Modern building materials are factors city fire.* Erişildi (Ocak 5, 2023), https://www.fireengineering.com/firefighting/modern-building-materials-are-factors-in-atlantic-city-fires/#gref

Foley, M., D., & Drysdale, D. (1995). Heat transfer from flames between vertical parallel walls. *Fire Safety Journal*, 24(1), 53–73. https://doi.org/10.1016/0379-7112(94)00033-C

Garden, G.K. (1963). *Rain penetration and its control, Canadian*. National Research Council Canada. https://doi.org/10.4224/40000854.

Gedik, Z. G. (2001, Mart 23-25). *Hazır Dış Duvar Elemanlarının Isısal Konfor Açısından İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi* [Conference presentation abstract]. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, Eskişehir, Türkiye. https://docplayer.biz.tr/10063929-Hazir-dis-duvar-elemanlarinin-isisal-konfor-acisindan-incelenmesi-ve-degerlendirilmesi.html

Genco, G. (2015). *Lacrosse Building Fire.* City of Melbourne. https://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/mbs-report-lacrosse-fire.pdf

Gentaş. (n.d.). *Products Exterior*. Erişildi (Kasım 10, 2022), https://www.gentas.com.tr/en/products/exterior/

Gibson, M. D. (2013, Temmuz 23). *Cool Skins: Exploring the Cooling Potential of Lightweight, Ventilated Cladding Systems* [Conference presentation abstract]. The Visibility of Research Sustainability: Visualization Sustainability and Performance Architectural Research Conference , North Carolina, ABD. https://www.arcc-journal.org/index.php/repository/article/view/204/158

Gonzalo, C., Paurine, A., & McCann, F. (2018, Nisan 12-13). *Improving the fire resistance of ventilated cladding systems via air cavity replacement* [Conference presentation astract]. CIBSE Technical Symposium, London, UK. https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/improving-fire-resistance-of-ventilated-cladding-panels.

Goodenough, T. (2012, Temmuz 17). *Towering inferno of İstanbul: Forty-two storey skyscraper is engulfed by blaze.* Dailymail. https://www.dailymail.co.uk/news/article-2174853/Polat-Tower-Firefighters-huge-blaze-engulfed-150m-Istanbul-skyscraper.html

Graphic News. (n.d.). *External cladding fires at UAE skyscrapers*. Erişildi (2022, Nisan 18), https://www.graphicnews.com/en/pages/35673/disasters-external-cladding-fires-at-uae-skyscrapers-1

Grauer, M. (2019). Ventilated rainscreen cladding system subframe contribution to annual source energy use mid-size Office building. *Energy&Buildings*, 187(1), 269-280. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.010.

Grigore, B., & Albulescu, B. (2019). *Fire safety facades*. [Yüksek lisans tezi, Lund Üniversitesi]. Lund Campus Repository. http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8983928

Guillaume, E., Fateh, T., Schillinger, R., Chiva, R., & Ukleja, S. (2018). Study of fire behaviour of facade mock-ups equipped with aluminium composite material-based claddings, using intermediate-scale test method. *Fire and Materials*, 42(5), 561–577. https://doi.org/10.1002/fam.2635

Guillaume, E., Drean, V., Girardin, B., Benameur, F., & Fateh, T. (2019). Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 1: lessons from observations and determination of work hypotheses. *Fire and Materials*, 44(1),3-14. https://doi.org/10.1002/fam.2766

Güleşen, E., & Yılmaz, M.H. (2018, Nisan 12-13*). Yangın Emniyeti ve Cephe Tasarımı* [Conference presentation abstract]. 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, İstanbul, Türkiye. https://www.caticephekonferansi.com/

Haberler. (n.d.). *Gazeteciler, Polat Towers'ı gezdi.* Erişildi (2022, Mart 26). https://www.haberler.com/guncel/gazeteciler-polat-towers-i-gezdi-3794932-haberi/

Hachborn. (2017). *Best Practice Guide - Architectural Precast Concrete Walls* [Brochure]. https://www.tboake.com/guides/precast.pdf

Hannan, C., & Derome, D. (2007) *A Study of Air Movement in the Cavity of a Brick Veneer Wall*. https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098666315&origin=inward&txGid=dbedf2c1c405032b4bde8588bf7ebbe

Hekim Yapı. (n.d.). *Fibercement.* Erişildi (Kasım 10, 2022), https://www.hekimyapi.com/fibercement

Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2017). Facade construction manual (3. Basım). Detail. https://doi.org/10.11129/9783955533700

Hastas. (n.d.). *Mekanik.* Erişildi (Aralık 2, 2022), http://hastas.com.tr/mekanik/

ILVA Brand. (2019). Furniture finishing and coating from traditional manufacturing to industry 4.0. Volume:1 Wood coating and finishes manual. *Industrias Quimicas IVM, S.A.*

Ingason**,** H. (1994). Two Dimensional Rack Storage Fires. *International Association for Fire Safety Science,* 56(4), 1209–1220. https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.4-1209

Inspectapedia. (n.d.). *Buy brick or stone veneer wall weep vents & air vents.* Erişildi (Aralık 25, 2022), https://inspectapedia.com/structure/Brick_Wall_Weep

İllbruck. (n.d.). *Membrane*. Erişildi, (Ocak 13, 2023), https://www.illbruck.com/en-gb/home/

İzoder. (n.d.). *Yalıtımlı çatı ve cephe panelleri*. Erişildi (Kasım 5, 2022), https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitimli_cati_ve_cephe_panelleri.pdf

İzoder Yalıtım. (n.d.). *Binalarda su yalıtım yönetmeliği klavuzu*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://www.izoder.org.tr/binalarda-su-yalitimi-yonetmeligi-klavuzu

Kanan**,** N. Ö., & Beyhan, F. (2013, Nisan 17-20). *Enerji Etkin Binalarda Çift Katmanlı Cephe Sistemlerinin Yangın Güvenliği* [Conference presentation abstract]. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/09/2013-99.pdf

Kanyon Yapı. (n.d.). Lineflex *epdm membrane*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://www.tasyunuplus.com/lineflex-epdm-membran/

Karlsson, B., Thomas, P.H., & Holmstedt, G. (1995). *Flame sizes in a small scale stack: pilot experiments*. (Report No. LUTVDG/TVBB-3077). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University. https://portal.research.lu.se/en/publications/flame-sizes-in-a-small-scale-stack-pilot-experiments

Kesik, T.J. (2016, Ağustos 16). *Moisture management strategies*. Whole Building Design Guide. https://www.wbdg.org/resources/moisture-management-strategies

Kim, Y., Mizuno, M., & Ohmiya, Y. (2011). Fire examination of superhigh-rise apartment building ''Wooshin Golden Suites'' in Busan, Korea. *Fire Science and Technology*, 30 (3), 81-90. https://doi.org/10.3210/fst.30.81

Kılıç, A. (2012). Cephe Kaplamaları ve Cephe Yangın Güvenliği. *Yangın ve Güvenlik*, 152,8-10. http://www.yangin.org/dosyalar/cephe yanginlari ve yonetmelik

Koohkan, M., Guillaume, E., Drean, V., Girardin, B., Benameur, F., & Fateh, T. (2019). Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 3- numerical simulation of the Grenfell Tower disaster: Contribution to the understanding of the fire propagation and bahaviour during the vertical fire spread. *Fire and Materials*, 44(1), 35-57. https://doi.org/10.1002/fam.2763.

Koo, B., Lee, K., An, Y., & Lee, K. (2017). Solar heat gain reduction of ventilated double skin windows without a shading device. *Sustainability*, 10(64), 1-18. https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/64

Korkmaz, E. (2016). Mimarlık eğitiminde yangın güvenlikli tasarımın yeri. *Megaron*, 11(2), 217-229. https://doi.org/10.5505/megaron.2016.07279

Labat, M., Woloszyn, M., Garnier, G., Rusaouen, G., & Roux, J.J. (2012). Impact of direct solar irradiance on heat transfer behind an open-jointed ventilated cladding: experimental and numerical investigations, *Solar Energy,* 86(9), 2549–2560. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.05.030

Lamont, S. & Ingolfsson, S. (2018). *High Rise Buildings with Combustible Exterior Wall Assemblies: Fire Risk Assessment Tool*. National Fire Protection Association. https://www.nfpa.org//-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFEFFECTReport.pdf

Lane, B. (2017). *Phase 1 Report- Section 10 Routes for vertical and horizontal fire spread throughout the building envelope*. Grenfell Tower Inquiry. https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk/documents/Dr%20Barbara%20Lane%20report%20-%20section%2010%20%28Phase%201%20-%20supplemental%29.pdf

Lane, B., (2018). *Phase 1 Report Section 8 The external wall materials and construction*. Grenfell Tower Inquiry. https://assets.grenfelltowerinquiry.org.uk

Lineflex. (n.d.). *Epdm membran*. Erişildi (Ocak 12, 2023), http://www.lineflex.com.tr/images/katalog.pdf

Livkiss, K, Svensson, S., Husted, B., & van Hees, P. (2018). Flame heights and heat transfer infacade system ventilation cavities. *Fire Technology*, 54, 689–713. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0706-2.

López, F. P., Jensen, R. L., Heiselberg, P., & Santiago, M. R. A. (2012). Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facade, *Building and Environment*, 56, 265-275. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.017

Martinsson**,** E. (2018). *To evaluate fire properties of a facade: a study on semi natural test methods* [Yüksek Lisans Tezi, Lulea University of Technology]. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1193777/FULLTEXT01.pdf

Mas, A., Gutierrez, J., Gil, E., & Galvan, V. (2011). Design and construction recommendations to improve impermeability in rainscreen walls built with natural stone coverings. *Construction and Building Materials*, 25 (2011), 1753-1761. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.091

Marinosci**,** C., Semprini, G., & Morini, G.L. (2014). Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen facade building, *Energy Building*. 72(2014), 280–287. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.044

Metal Construction Association. (2014). Understanding Rain Screen Wall Systems [White Paper]. Metal Construction Association. http://www.ceimaterials.com/cm/dpl/downloads/content/3646/Understanding-Rainscreen-Wall-Systems.pdf

Metal Panel. (n.d.). *Poliizosiyanurat.* Erişildi (Ocak 4, 2023), http://www.metapanel.com.tr/Poliizosiyanurat-PIR

Mesado, C., Chiva, S. Julia, E., & Hernandez, E. L. (2010 Haziran 14-17). *Two dimesnional modelling with cfd of the behavior of a ventilated ceramic façade* [Conference presentation abstract]. European Conference on Computational FluidDynamics,Lizbon,Portekiz.http://congress2.cimne.com/eccomas/proceedings/cfd2010/papers/01603.pdf

Mimdap. (n.d.). Polat Towers NYT'a konu oldu. Erişildi (2022, Mart 22), http://mimdap.org/2009/01/polat-towers-nyta-konu-oldu/

McNamee, R., Boström, L., Skarin, C., & Duny, M. (2016). *Fire test of ventilated and unventilated wooden façades*. Science Partner Report. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1072284/FULLTEXT01.pdf

NAMBA. (2021). *Visualizing the Importance of Fire Safety in High-Rise Buildings*. NAMBA North American Modern Building Alliance. https://www.americanchemistry.com/industry-groups/north-american-modern-building-alliance-namba/resources/namba-visualizing-the-importance-of-fire-safety-in-high-rise-buildings.

NCC. (2019). *National construction code volume one amendment 1*. Australia. https://ncc.abcb.gov.au/editions/2019-a1/ncc-2019-volume-one-amendment-1/section-c-fire-resistance/specification-c113

NFPA 5000. (2021). *Building construction and safety code*, America. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=5000&tab=committee#tabs

Nore, K., Blocken, B., & Thue, J.V. (2010). On CFD simulation of wind-induced airflow in narrow ventilated facade cavities: coupled and decoupled simulations and modelling limitations. *Building and Environment*, 45(8), 1834–1846. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.014

Nguyen, K.T., Weerasinghe, P., Mendis, P., Ngo, T., & Barnett, J. (2016) Performance of modern building façades in fire: a comprehensive review. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 16(1), 69–86. http://www.ejse.org/Archives/Fulltext/2016-1/2016-1-8.pdf

Nghana, B., Tariku, F., & Bitsuamlak, G. (2021). Assessing ventilation cavity design impact on the energy performance of rainscreen wall assemblies: A CFD study. *Building and Environment*, 196(107789), 1-16.

Obex. (n.d.). *Search results for membran*. Erişildi (Ocak 12, 2023), https://obexeu.com/?s=membran&post_type=product

Ondrus, J., & Pettersson, O. (1986). *Fire hazard of facades with externally applied additional thermal insulation full scale experiments.* (Report No. LUTVDG/TVBB--3021--SE; Cilt 3021). Lund Institute of Thechnology. https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4837780/2158239.pdf

Özer**,** N., & Özgünler, S.A. (2019). Yapılarda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin performans özelliklerinin duvar kesitleri üzerinden değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 25-48. https://doi.org/10.17482/uumfd.438738

Öymen**,** T. (1985). Yangın davranışlarını belirleyen bazı etkenler ve kantitatif yaklaşımlar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 35(2), 82-88. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jffiu/issue/18832/198318

PA Graphics. (2018). Grenfell Tower inquiry. *Belfast Telegraph*. https://www.belfasttelegraph.co.uk/news/uk/nobody-should-ever-have-been-allowed-to-live-in-grenfell-tower-fire-chief-says/37352571.html

Paraskevas, A. (2009, Şubat 10). Fire engulfs the under construction beijing mandarin oriental. *A Space Of Possibilities Blog*. http://aparaskevas.blogspot.com/2009/02/fire-engulfs-under-construction-beijing.html

Parker, N. (2017, Ocak 22). *600 tower fire traps hundreds of high rises across britain have grenfell tower style cladding leaving thousands of families living in fear.* The Sun. https://www.thesun.co.uk/news/3864036/hundreds-of-high-rises-across-britain-have-grenfell-tower-style-cladding-leaving-thousands-of-families-living-in-fear/

BSI. (2022). *PAS 9980:2022 Fire risk appraisal of external wall construction and cladding of existing blocks of flats.* (Standard No. 9980:2022). The British Standards Institution. https://www.bsigroup.com/en-GB/standards/pas-9980/

Pasternack, A. (2007, Mart 5). Pulling up architecture by the boot. *Pasternacking Blogspot.* http://pasternacking.blogspot.com/2007_03_01_archive.html

Patania, F., Gaglliano, A., Nocera, F., Ferlito, A., & Galesi, A. (2010). Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. *Energy and Building* , 42, 1148-1155. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.006

Peng, L., Ni, Z., & Huang, X. (2013). Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. Procedia Engineering, 62(7), 663–670. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.112.

Pershakov, V., Bieliatynskyi, A., Popovych, I., Lysnytska, K., & Krasheninnikov, V. (2016). Progressive Collapse of High-Rise Buildings from Fire. *EDP Sciences*, 73(1), 1-8. https://doi.org/10.1051/matecconf/20167301001

Prada, A., Baratieri, M., & Gasparella, A. (2013). Analysis of the impact of ventilated cavities on the performance of opaque components. In Baratieri, M., Corrado, V., Gasparella, A., Patuzzi, F (Eds.), Building Simulation Applications BSA 2013 (pp. 353–361). Bolzano-Bozen Press. https://hdl.handle.net/10863/23786

Jones, N., Peck, G., McKenna, S.T., Glockling, J.L., Harbottle, J., Stec, A. A., & Hull, T.R. (2021). Burning behaviour of rainscreen facade. *Journal of Hazard Materials*, 403 (123894), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123894.

Jutras, R., & Fecteau, P. O. (2019 Mart 26-27). *The interaction of the air barrier airtightness and the resistance to water penetration through wall cladding systems as seen by AAMA 508 and 509 standards* [Conference presentation]. Air Barrier Association Of America Conference & Trade Show, Reston, Virginia. https://www.abaaconference.com/wp-content/uploads/2019/04/Interaction-of-the-AB-Air-Tightness-and-Resistance-to-Water-Robert-Jutras-Pierre-Olivier-Fecteau.pdf

Koester, J. H. (2014, Nisan 8). Weep now or weep later: moisture management and risk zones for masonry. *The Construction Specifier*. https://www.constructionspecifier.com/weep-now-or-weep-later-moisture-management-and-risk-zones-for-masonry/

Kuran, H. K. (2017, Temmuz 7). Cephe teknolojisinin türkiye'deki gelişimi ve sürdürülebilirlik. *Ekoyapı*. https://www.ekoyapidergisi.org/cephe-teknolojisinin-turkiye-deki-gelisimi-ve-surdurulebilirlik

Küçük, M. (2012, Agustos 2). *Polat tower yangınının sebebi belli oldu*. Posta. https://www.posta.com.tr/gundem/polat-tower-yangininin-sebebi-belli-oldu-133274

Rahiminejad M**.,** & Khovalyg, D. (2021). Review on ventilation rates in the ventilated air-spaces behind common wall assemblies with external cladding. *Building and Environment*, 190, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107538.

Realit. (n.d.). *Architecture System*. Erişildi (Aralık 25, 2022), https://realit.ru/en/produktsiya/arkhitekturnyesistemy/navesnye-ventiliruemye-fasady/

Recatala, A.M. (2017). *Proposal for a new test methodology for assessing the performance of rear-ventilated façades against wind-driven rain (WDR) and driving rain wind pressures (DRWP)* [Doktora tezi, Politecnica de Madrid University]. Madrid Campus Repository. https://oa.upm.es/48530/

RT82. (n.d.). *Housing fires causes of occurrence.* Erişildi (2022, Mayıs 20), https://rt82.ru/en/typology-of-fires/fires-in-housing-causes-of-occurrence/

Rukavina, M., Carevic, M., Pecur, I. (2017, Şubat). *Fire Protection of Facades, The Guidelines for Designers Architects, Engineers and Fire Experts.* https://www.grad.unizg.hr/images/50014277/Fire%20Protection%20of%20Facades.pdf

Russia Former Soviet Union. (n.d.). *Luxury skyscraper hotel destroyed in massive blaze in Chechnya. Erişildi (2022, Nisan 25),* https://www.rt.com/news/chechnya-tallest-building-fire-280/

Sanjuan, C., Suarez, J., Gonzalez, M., Pistono, J., & Blanco., E. (2011). Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity façade. *Solar Energy*, 85, 1851-1863. https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.028

Schabowicz, K., Sulik, P., & Zawislak, K. (2021). Reduction of load capacity of fiber cement board façade cladding under the influence of fire. *Materials*, 14(1769), 1-15. https://doi.org/10.3390/ma14071769.

Stazi, F., Ulpiani, G., Pergolini, M., Di Perna, C., & D'Orazio M. The role of wall layers properties on the thermal performance of ventilated facades: experimental investigation on narrow-cavity design, *Energy Building*, 209, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109622

Stollard, P., & Abrahams, J. (2002). *Fire from first principles, A design guide to building fire safety* (3rd ed.). E & FN Spon.

Sharma, A., & Mishra, K.B. (2021). Experimental investigations on the influence of 'chimney-effect' on fire response of rainscreen façades in high-rise buildings. *Journal of Building Engineering*, 44(103257), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103257.

Soğukoğlu, M., & İnce, A. (2013). Yüksek binalarda yangın güvenliği açısından dış cephe yalıtım ve kaplama malzemeleri [PowerPoint slides]. Abdurrahman İnce. http://www.abdurrahmanince.net/DisCephe.pdf

Sözen, Ş. M. (2001). Yapı kabuğunda ısı ve ses yönünde denetim-konfor ilişkisi. *Tesisat Mühendisliği*, (61), 74-79. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/e8374ec4e4ad797_ek.pdf

Stonesize. (n.d.). What is a ventilated facade? Operation and advantages. Erişildi (Mart 5, 2022), https://stonesizepanels.com/ventilated-facade

Stonite. (n.d.). *Product Types*. Erişildi (Kasım 24, 2022), https://www.stonite.com.tr/stonite/en/products/product-types

Straube, J., & Graham F. (2009). Ventilated wall cladding: rewiew, field performance and hygrothermal modeling. *Building Science Press*. https://buildingscience.com/sites/default/files/migrate/pdf/rr-0907_ventilated_wall_claddings_review_performance_modeling_rev.pdf

Straube, J. (2011, Ağustos 22). BSD-013: Rain Control in Buildings. *Building Science Corporation*. http://www.buildingscience.com/documents/digests/bsd-013-rain-control-in-buildings

Straube, J. (2013, Mart 11). High performing precast concrete building enclosures: rain control. *Building Science Corporation.* https://buildingscience.com/sites/default/files/migrate/pdf/2013-05-23_CPCI%20White%20Paper%20Final.pdf

Straube, J. (2020). *Precast concrete enclosures* [PowerPoint slides]. Balanced. http://www.civil.uwaterloo.ca/beg/Arch673/ArchPrecastConcreteEnclosures.pdf

Strömgeren, M., Albrektsson, J., Johansson, A., & Almgren, E. (2013, Kasım 14-15). *Comparative analysis of façade regulations in the Nordic countries.* [Conference presentation]. 1st International Seminar for Fire Safety of Facades MATEC Web of Conferences, Paris, Fransa. https://www.matec-conferences.org/

Şen, A.O. (2006). *Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye'de Yalıtım* [Yüksek Lisans Tezi., Sakarya Üniversitesi, FBE]. Sakarya Campus Repository. https://hdl.handle.net/20 .500.12619/81901.

Şimşek, Z. (2019). Çatı ve cephede su yalıtım malzemelerinin seçim kriterlerinin incelenmesi. *Journal of Awareness*, 4(2), 227-238. https://doi.org/10.26809/

Swiss Facades. (n.d.). *Technical Framing System.* Erişildi (Kasım 5, 2022), https://swissfacades.com/technical/framing-system

Taejin, K., & Soo-young, H. (2010, Ekim 2). *Gecikmeli yanıt yangını büyüttü.* Imaeil News. https://news.imaeil.com/page/view/2010100209243417851

Tabadkani, S.A., Sadrolodabaee, P., & Khanjanzadeh, M. (2015). Innovative bioclimatic european school complex in Crete, Greece [Yüksek Lisans Tezi, Politecnico di Milano Üniversitesi]. Milano Campus Repository.

Taylor, W., & Choi, K. K. (1984). Combustibility of insulation in cavity walls. *Fire Sciences*, 2 (3), 179-188. https://doi.org/10.1177/073490418400200303.

Taylor Maxwell. (n.d.). *Strata Stone Cladding System*. Erişildi (Kasım 25, 2022), https://www.taylormaxwell.co.uk/facade-systems/strata-stone-cladding-systems

Tenker S. (1995). Yüksek Otellerde Yangın Korunum ve Kaçış Yollarının İrdelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YTÜ Beşiktaş Campus Repository. http://localhost:6060/xmlui/handle/1/10821

Tesisat. (n.d.). *Polat Tower Residence'ın Yangın Sistemi ile Entegre Bina Otomasyonu Sistemi*.Erişildi (2022, Mart 26) https://www.tesisat.com.tr/yayin/216/polat-tower-residencein-yangin-sistemi-ile-entegre-bina-otomasyonu-sistemi_6149.html#.Y-1bvGlBxD

Tonbridge. (2011). CPD: Module 13- Rainscreen Cladding. *Building Design*, 18, 1-5. https://www.proquest.com/trade-journals/cpd-module-13-rainscreen-cladding/docview/903519960/se-2.

Torero, J.L. (2018). *Grenfell Tower: phase 1 report*. Grenfell Tower Inquiry. https://www.grenfelltowerinquiry.org.uk/evidence/professor-jose-ltoreros-expert-report

Türkçü, H. Ç. (1997). *Yapım İlkeler-Malzemeler-Yöntemler-Çözümler*. Birsen Yayınevi.

BYKHY. (2021). Türkiye binaların yangından korunması hakkında yönetmelik. Bakanlar Kurulu.

UAEM. (2018). U. A. E. M. of interior gen command of civil defense UAE fire and life safety code of practice.

Van Straaten, R. (2004). *Measurement of ventilation and drying of vinyl siding and brick clad wall assemblies* [Yüksek Lisans Tezi, University of Waterloo]. Waterloo Campus Respository. http://hdl.handle.net/10012/909

Wade, C. A., & Clampett, J.C. (2000). *Fire Performance of Exterior Claddings*. (Report No. FCRC PR 00-03). Fire Code Reform Centre. https://www.abcb.gov.au/sites/default/files/resources/2020//FCRC-PR-00-03-Fire-Performance-Exterior-Claddings.pdf

White, N., Delichatsios, M., Ahrens, M., & Kimball, A. (2013, Kasım 29). *Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components* [Conference presentation]. 1st International Seminar for Fire Safety of Facades MATEC Web of Conferences, Paris, Fransa. https://doi.org/10.1051/matecconf/201

White**,** N., & Delichatsios M. (2014). *Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components*. The fire protection research foundation. https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics and-reports/Building-and-life safety/

White, N., & Delichatsios, M. (2015). *Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components.* Springer Briefs.. http://www.springer.com/series/10476

Wood, S.D. (2018, Mart 22-27). *CBST, Vented cladding assemblies prevent reverse vapor drive and allow vapor-permeable water-resistive and air barrier (WRB/AB) membranes to enhance Wall assembly drying* [Conference presentation abstract]. 33rd RCI International convention and trade show, Washington, ABD. https://vaproshield.com/images/pdf/2018-cts-wood.pdf.

Yaman, M. (2018). *Cephe yangın güvenlik önlemleri ve mevzuatlar* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. Gazi Campus Repository. https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/be069b0e-44a6-44b4-a10c-b8fa17149f2f/cephe-yangin-guvenlik-onlemleri-ve-mevzuatlar

Yazgan, M. T., (2010). *Yangın geçirmiş binaların dayanımlarının araştırılması.* [Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi]. Gebze Campus Repository. https://discovery.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=24b0d4de-8693-3128-a63d-eb0a4023226a

Young, T., Brown, B., Finch, G., AokiKramer, M., Zagelow, G., Breda, M., Golden, S., Nolan, K., Chavez, M., Allard, J. (2018, Ocak). *National masonry system guide: nortwest edition.* The Northwest Masonry Institute. http://www.masonrysystemsguide.com/wp-content/uploads/2018-MIW-WHOLE-BOOK.pdf

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Çalışkan, M., & Korkmaz, E. (2023). Havalandırmalı Giydirme Cephe (Rainscreen) Sistemlerinde Yangın Yayılımının Deneysel Çalışmalar ve Gerçek Olaylar Üzerinden Karşılaştırılması, *Kent Akademisi Dergisi*, 16(1), 632-661. https://doi.org/10.35674/kent.1189291.