

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN GÜVENLİKLİ CEPHE TASARIMINDA MALZEME
SEÇİMİNE İLİŞKİN BİR SİSTEM YAKLAŞIMI**

Özgü AYDOĞDU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Programı

Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Ezgi KORKMAZ

Temmuz, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN GÜVENLİKLİ CEPHE TASARIMINDA MALZEME SEÇİMİNE
İLİŞKİN BİR SİSTEM YAKLAŞIMI**

Özgü AYDOĞDU tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2019 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

Doç.Dr. Erkan AVLAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ürün BİÇER, Üye
Beykent Üniversitesi

Danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Ezgi KORKMAZ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Yangın Güvenlikli Cephe Tasarımında Malzeme Seçimine İlişkin Bir Sistem Yaklaşımı 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.

Özgü AYDOĞDU

İmza

Çalışma anne ve babama adanmıştır.



TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez yazım sürecim boyunca desteklerini benden esirgemeyen, en ufak bir sorunla karşılaştığımda bile yanımda olan ve tavsiyeleriyle beni yönlendiren kıymetli danışmanım Dr.Öğr.Üye. Ezgi KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında, acil durumlarda bir telefonla yardımına koşan, sorunlarımı paylaşan can dostlarıma ve aileme her zaman yanımda oldukları için teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca desteklerini her zaman arkamda hissettiğim, başarabileceğime inançları tam olan, beni sevgi ve binbir emekle büyüten canım annem Asya AYDOĞDU ve babam Mahir AYDOĞDU' ya teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Özgü AYDOĞDU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	10
2 CEPHE MALZEMELERİ VE YANGIN	11
2.1 Yapı Malzemelerinin Yangın Sırasındaki Davranışı	11
2.1.1 Yangının Yapı Malzemelerinin Yapısında Neden Olduğu Fiziksel ve Kimyasal Değişimler	12
2.1.2 Cephe Kavramı ve Cephede Yangın Oluşumu	14
2.2 Cephe Sistemleri ve Yangının Yayılma Yolları	19
2.2.1 Boşluklu Yerleşik Cephe Sistemleri	21
2.2.2 Boşluksuz Yerleşik Cephe Sistemleri	24
2.2.3 Çift Katmanlı Cepheler	29
2.2.4 Giydirme Cepheler	33
2.3 Konvansiyonel Cephe Kaplama Malzemeleri	35
2.3.1 Metal Esaslı Kaplamalar	37
2.3.2 Ahşap Esaslı Kaplamalar	39
2.3.3 Cam Kaplamalar	42
2.3.4 Taş Esaslı Kaplamalar	43
2.3.5 Seramik Esaslı Kaplama Malzemeleri	44
2.3.6 Çimento Esaslı Kaplama Malzemeleri	45

2.3.7	Plastik Esaslı Kaplama Malzemeleri	46
2.3.8	Kompozit Kaplama Malzemeleri	48
2.4	Yalıtım Malzemeleri	49
2.5	Nano-malzemeler ve Cephelerde Kullanımı	58
2.5.1	Nanoteknoloji ve Mimarlık	59
2.5.2	Yapılarına Göre Nano-Malzemeler	60
2.5.3	İçeriklerine Göre Nanomalzemeler	60
2.5.4	Boyutlarına Göre Nano-malzemeler	61
2.6	Nano-kaplamalar ve Cephelerde Kullanımı	62
2.7	Nano-izolasyon Malzemeleri ve Cephelerde Kullanımı	63
2.8	Cephelerde Kullanılan Nano-malzemenin Yangın Güvenliği Kapsamında İncelenmesi	67
2.8.1	Nano-SiO ₂ ve Yangın Direnim Özellikleri	67
2.8.2	Aerosil ve Yangın Direnim Özellikleri	70
2.8.3	TiO ₂ ve Yangın Direnim Özellikleri	71
2.8.4	Nano-LDH'ler ve Yangın Direnim Özellikleri	74
2.8.5	Nano-Kompozitler ve Yangın Direnim Özellikleri	75
2.8.6	CNT'ler ve Yangın Direnim Özellikleri	78
3	CEPHE MALZEMELERİNDE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDART VE YÖNETMELİKLER KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	80
3.1	Türkiye Cumhuriyeti Yangın Yönetmeliği (BYKHY)	80
3.2	İngiltere Yönetmeliği (BS-9999, 2017)	82
3.3	Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D) Yönetmeliği (NFPA 5000)	84
3.4	Birleşik Arap Emirlikleri (B.A.E) Yönetmeliği (UAE Civil Defence Fire Code)	90
3.5	Avustralya Yangın Yönetmeliği (NCC, National Construction Code) . .	107
3.6	Yeni Zelanda Yangın Yönetmeliği (New Zealand Building Code, Acceptable Solution)	109
3.7	Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerin Cephe Malzemeleri Kapsamında Değerlendirilmesi	111
4	YANGIN GÜVENLİKLİ CEPHE TASARIMINDA MALZEME SEÇİMİNE İLİŞKİN BİR MODEL ÖNERİSİ	118
4.1	Modelin Kurgusu	118
4.2	Yangın Öncesi Sistemi	123
4.2.1	Binanın İşlevi, Yüksekliği ve Çevre ile Olan İlişkisinin Analizi Alt Sistemi	123

4.2.2	Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Çerçevesinde Cephe Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi ve Malzeme Seçimi Alt Sistemi	129
4.3	Yangın Sonrası Sistemi	143
4.3.1	Yangının Malzemenin Fiziksel ve Kimyasal Yapısında Neden Olduğu Değişimlerin Analizi Alt Sistemi	144
4.3.2	Hasar Tespit Edilen Bölgede Yapılacak Olan Uygulamaya Karar Verilmesi Alt Sistemi	146
4.4	Yangın Güvenlikli Cephe Tasarım Modelinin Uygulama Yöntemi	147
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	154
	KAYNAKÇA	159
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	171

SİMGE LİSTESİ

°C	Celcius Degree
dk	Dakika
kW	KiloWatt
kW/m	Kilowatt/metrekare
m	Metre
m	Metrekare
mm	Milimetre
cm	Santimetre

KISALTMA LİSTESİ

ACP	Aluminium Composite Panel
AS	Acceptable Solutions
AS	Australian Standards
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRE	Building Research Establishment
BS	British Standards
BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
CNT	Carbon Nanotube
CLT	Cross Laminated Timber
CTP	Cam Takviyeli Polyester
Ç.K.C.	Çift Katmanlı Cephe
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTA	Differential Thermal Analysis
EIFS	Exterior Insulation Finishing Systems
EN	European Norm
EP	Polyethylene
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber
EPS	Expanded Polystyren Foam
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
FM	Factory Mutual
FT-IR	Fourier-transform Infrared Spectroscopy
GFRC	Glass fiber reinforced concrete
GRP	Glass-reinforced plastic

HUZOP	Hrvatska Udruga za zaštitu od požara
IBC	International Building Code, U.S.A.
ISO	International Organization for Standardization
LOW-e	Low-emissivity
MCM	Metal Composite Panel
NCC	National Construction Code
NFPA	National Fire Protection Assosiation, A.B.D.
PEWFS	Polycarbonate External Wall and Façade System
PIR	Polyisocyanurate Foam
PMMA	Polimetil Metilakrilat
PUR	Polyurethane Foam
PV	Photovoltaic
PVC	Polyvinyl Chloride
PVB	Polyvinyl Butyral
SEM	Scanned Electron Microscopy
SPF	Spray Polyurethane Foam
TEM	Transmisson Electron Microscopy
TG	Thermal Gravimetrer
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UAE	United Arab Emirates
UL	Underwriters Laboratories
VIP's	Vacuum Insulated Panels
XPS	Extruded Polystyrene

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Çeşitli yıllarda yaşanan cephe yangınları sırasında yapıların mevcut durumu	3
Şekil 1.2	Cephelerde malzemelerinin kullanılma oranları	5
Şekil 2.1	Bazı son kat (kaplama) ürünlerinde yangın sırasında meydana gelen değişimler	12
Şekil 2.2	Yapı kabuğunun iç ve dış ortam arasında üstlendiği görevler	14
Şekil 2.3	Yangın sırasında iç hacimdeki ısı akışı ve yangının cephede yayılması	16
Şekil 2.4	Dış cephe kaplama malzemesinde dikey yönde yangın yayılımına etki eden faktörler	17
Şekil 2.5	Cephelerde yangının yayılma yolları	18
Şekil 2.6	Pencere açıklıklarının yangın üzerindeki etkileri a) dar pencere, b) geniş pencere, c) üzerinde çıkıntı bulunan yatay pencere	19
Şekil 2.7	Cephe tipolojilerinin yangın güvenliği kapsamında sınıflandırılması .	20
Şekil 2.8	Yağmur perdelemeli cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	21
Şekil 2.9	Yalıtım malzemesi olarak XPS köpük kullanılan ve 102 mm genişliğinde boşluğa sahip olan bir duvar sisteminin ASTM E84 test metodu kapsamında yapılan yanma testi sırasındaki performansı ve test sonundaki görüntüsü	22
Şekil 2.10	Yalıtım malzemesi olarak spreyci PUR köpük kullanılan 102 mm genişliğinde boşluğa sahip olan bir duvar sisteminin ASTM E84 test metodu kapsamında yapılan yanma testi sırasındaki performansı ve test sonundaki görüntüsü	22
Şekil 2.11	Kâgir duvar sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	23
Şekil 2.12	NFPA 285 test metodu kapsamında yanıcı malzeme içerikli taşıyıcı olmayan dış duvarlarda yangının gelişimi ve numunenin test sonrasındaki durumu	24
Şekil 2.13	Beton esaslı prekast panel kaplamalı cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	25
Şekil 2.14	NFPA 285 ve E119 / UL263 test metodları kapsamında beton esaslı prekast panellerde yangın testi	25

Şekil 2.15 Yalıtımlı metal sandviç panel kaplamalı cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	26
Şekil 2.16 Polat Tower yangını	27
Şekil 2.17 Isı yalıtımlı kompozit cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	28
Şekil 2.18 Yalıtımlı kompozit cephe sistemlerinin kullanılan ısı yalıtım malzemeleri doğrultusunda yangın performanslarının BS 8414 test metodu kapsamında değerlendirilmesi a) EPS b) EPS ve 20 cm taşıyıcı yangın bariyeri c) Taşıyıcı	29
Şekil 2.19 Çift katmanlı cephe tipleri a) kutu tipi, b) şaft tipi, c) kat yüksekliğinde koridor tipi, d) tüm bina yüksekliğinde	30
Şekil 2.20 Çift katmanlı cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	32
Şekil 2.21 Çift katmanlı cephe sistemi yangın testi a) yangının başladığı odadan itibaren iç yüzeyden geçmesi b) kırılan iç cam paneli c) duman ve gazların hava boşluğunda yayılması, d) dıştaki çift katlı cam panelin arasında bulunan jel yüzeyin yanması, e) dış katmandaki camın kırılması	33
Şekil 2.22 Giydirme cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi	34
Şekil 2.23 Lotus Business Tower yangını, Mumbai/ Hindistan	35
Şekil 2.24 Giydirme cephelerde yangın durdurucu uygulaması örneği	35
Şekil 2.25 Alüminyum kompozit panel örneği	37
Şekil 2.26 Grenfell Tower yangını sonucu dış cephe kaplamalarının yangın sonrasındaki görünümü	38
Şekil 2.27 Yanan ahşabın fiziksel yapısında meydana gelen değişimler	39
Şekil 2.28 a) Kompakt laminat cephe uygulaması, b) panelleri oluşturan katmanlar	41
Şekil 2.29 CLT panel ve dış duvarları CLT panellerden oluşturulmuş bir yapı örneği	41
Şekil 2.30 a) 0,5 dk., b) 2 dk., c) 6 dk., d) 12., e) 20 dk. sonucunda alevlerin cephede yayılma oranları	42
Şekil 2.31 a) İlk 6 dk. içerisinde alevlerin cephede ilerlemesi, b) 20 dk. sonucunda cephenin son durumu	42
Şekil 2.32 Dubai Marina Torch Tower yangını sonucunda cam kaplamaların durumu	43
Şekil 2.33 Yangın sonucunda patlayarak etrafa saçılan temperlenmiş cam kaplamalar	43
Şekil 2.34 a) Terrakota esaslı kaplama, b) porselen esaslı kaplama, c) klinker/ kaplama tuğla, d) granit-seramik kaplama	45
Şekil 2.35 Beton kesitinde 60 dk. boyunca yangın gelişimi	45
Şekil 2.36 a) Ağır prekast betonarme panel, b) çimento esaslı kaplama	46

Şekil 2.37 Cam elyaf katkılı hafif prekast paneller ve yapıda uygulama örneği/ Bakü, Haydar Aliyev Kültür Merkezi	46
Şekil 2.38 Termoplastikler ve yanıcılık özelliklerinin incelenmesi a) PVC, b) PMMA, c) PC	48
Şekil 2.39 a) CTP kaplama, b) ahşap-plastik kompozit kaplama, c) corian kaplama	49
Şekil 2.40 Kompozit cephede ısı yalıtımı uygulaması	49
Şekil 2.41 Cephelerde kullanılan yalıtım malzemeleri	53
Şekil 2.42 Deneyde kullanılacak olan yalıtım malzemelerinin yanıcılık özelliklerinin belirlenmesi	53
Şekil 2.43 Yangın testleri sonucunda sırasıyla a) beyaz EPS, b) gri EPS ve c) XPS numunelerinin yanması sonucunda sıva arkasında oluşan hasarlar .	54
Şekil 2.44 Grenfell Tower Yangını	55
Şekil 2.45 2018 Yılı Taksim Gaziosmanpaşa Eğitim ve Araştırma Hastanesi Yangını	55
Şekil 2.46 Nesnelerin nano ölçekten metrik ölçeğe doğru sıralanması	58
Şekil 2.47 İçeriklerine göre nano-malzemelerin sınıflandırılması	60
Şekil 2.48 Nano-parçacıkların boyutlarına göre sınıflandırılması	62
Şekil 2.49 ALPOLIC A1'i oluşturan katmanlar	63
Şekil 2.50 Vakumlu ısı yalıtım panelleri (VIPs) ve yapıya uygulanması	64
Şekil 2.51 Aerojel ve Aerojel katkılı ısı yalıtım paneli	64
Şekil 2.52 Aerojel katkılı ısı yalıtım panellerinin bina cephelerinde kullanımı .	64
Şekil 2.53 Aerosil dolgulu cam cephe panelleri, Deutsche Post yapısı (Almanya)	65
Şekil 2.54 Yangın direnimli kaplamalar ve şeffaflık oranları	68
Şekil 2.55 Isı kaynağına maruz bırakılan, kontrplak üzerine uygulanmış yangın direnimli kaplamalarda oluşan kömür kalıntıları	68
Şekil 2.56 Aerosil dolgulu cam panel örneği	70
Şekil 2.57 6 mm kalınlığındaki Aerosil dolgulu EI 30 (30 dk) yangın direnimli cam panelin yanma testi sırasında geçirdiği aşamalar a) 1 dk, b) 20 dk c) 35 dk d) ara katmanı gösteren malzeme kesidi (cam panelin yangına karşı direnim göstermesi)	71
Şekil 2.58 DTA eğrileri a) akrilik polimer kaplama, b) Nano-TiO ₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama	72
Şekil 2.59 TG eğrileri a) akrilik polimer kaplama, b) Nano-TiO ₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama	73
Şekil 2.60 TG eğrileri Çeşitli oranlarda TiO ₂ veya nano-TiO ₂ ilave edilmiş kaplamalar	73
Şekil 2.61 Yangın korunumu testi verileri	74
Şekil 2.62 Yangın direnimi eğrileri a) Akrilik polimer kaplama , b) Nano-TiO ₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama	74
Şekil 2.63 Nano-kompozit içerikli filmlerin yanmasına ilişkin bir deney	76

Şekil 2.64	PUR ve NCL/AP katkılı PUR köpük malzemelerin DTG ve TG çizelgeleri	78
Şekil 2.65	CNT'lerin PMMA/0.5 wt % SWNT üzerinde azot (N) kullanılarak yapılan gazlaştırma deneyinde dağılım etkileri	78
Şekil 2.66	Gazlaştırma deneyi sonucunda, MWNT tabanlı nano-kompozitlerden PS/MWNT elde edilen kalıntılar	78
Şekil 3.1	Yönetmelik kapsamında cephe malzemelerinin yangın güvenlik önlemleri doğrultusunda seçimi	84
Şekil 3.2	NZBC yönetmeliği kapsamında dış duvarlarda yalıtım ve yatay yangın bariyeri uygulamaları a) çerçevesi konstrüksiyonda yalıtım uygulaması ve yangın bariyeri, b) kâğır ya da betonarme duvarda yalıtım uygulaması ve yangın bariyeri	109
Şekil 4.1	Sistem modelinin örneklenmesi	120
Şekil 4.2	Cephe malzemesi seçim modelini oluşturan sistemler	120
Şekil 4.3	Yangın güvenli yapı tasarımında malzeme seçimine yönelik bir sistem	122
Şekil 4.4	Yangın öncesi sistemi ve sistemi oluşturan alt sistemler	123
Şekil 4.5	Binanın işlevi, yüksekliği ve çevre ile olan ilişkisinin analizi alt sistemi	124
Şekil 4.6	Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve malzeme seçimi süreci	130
Şekil 4.7	Cephe yapım sistemlerinin yangın güvenli cephe tasarımı açısından değerlendirilmesi	132
Şekil 4.8	Cephe boşluklarında kaplama malzemesi ve döşeme birleşim noktalarında spandrel uygulaması	136
Şekil 4.9	Spandrel uygulamasında kullanılan katmanlar	137
Şekil 4.10	İntümesan özellikteki mastik elemanların yangın sırasında çalışma mekanizmaları	137
Şekil 4.11	Yatay yangın bariyeri detayı	138
Şekil 4.12	Yangın sonrası alt sistemi	144
Şekil 4.13	Yangın güvenli cephe tasarımı kapsamında malzeme seçim modeli	149
Şekil 4.14	Binanın fonksiyonunun, çevre ile olan ilişkisinin analizi alt sistemi .	150
Şekil 4.15	Pasif yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve malzeme seçimi alt sistemi	151
Şekil 4.16	Yangın sonrası alt sistemi	152

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	2010-2020 yılları arası yüksek katlı yapılarda meydana gelen cephe yangınları ve sonuçları	2
Tablo 2.1	Cephelerde kullanılan yalıtım malzemeleri	51
Tablo 2.2	Yüksek katlı yapılarda yaşanan cephe yangınları ve nedenleri	56
Tablo 2.3	Yapıda kullanılan nano-malzemeler ve kullanım alanları	66
Tablo 2.4	Yangın korunumu testi verileri	68
Tablo 2.5	Yangın korunumu testi verileri	69
Tablo 2.6	Yangın korunumu test verileri	75
Tablo 2.7	Köpük malzeme numulerinin termogravimetrik analizleri	77
Tablo 3.1	BYKHY Gereğince Cephe Türlerine Göre Kullanılması Gereken Malzemeler	82
Tablo 3.2	Dış cephe kaplamalarının sahip olması gereken en ince kalınlık değerleri	86
Tablo 3.3	Yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerin test gereksinimleri	93
Tablo 3.4	Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerin test gereksinimleri	94
Tablo 3.5	Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan EIFS ve ETICS malzemelerin test gereksinimleri	96
Tablo 3.6	Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan EIFS ve ETICS malzemelerin test gereksinimleri	97
Tablo 3.7	Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan PEWFS malzemelerin test gereksinimleri	98
Tablo 3.8	Yangın direnimli dış duvarların kaplamalarında kullanılan PEWFS malzemelerin test gereksinimleri	99
Tablo 3.9	Yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan sandviç panellerin test gereksinimleri	101
Tablo 3.10	Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan sandviç panellerin test gereksinimleri	102
Tablo 3.11	Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan GRC/GRFC ve GRP panellerin test gereklilikleri	104

Tablo 3.12	Cam panellerin test gereklilikleri	106
Tablo 3.13	Bina sınıfları ve kat yükseklikleri doğrultusunda yapıların sahip olması gereken yangın direnir sınıfları	108
Tablo 3.14	NZBC kapsamında dış cephe kaplama sistemlerinin değeriendirilmesi	110
Tablo 3.15	Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin dış duvar ve cephe malzemeleri kapsamında değeriendirilmesi	112
Tablo 4.1	Cephe yapım sistemlerinin yangın güvenlii cephe tasarımı açısından değeriendirilmesi	134



Yangın Güvenlikli Cephe Tasarımında Malzeme Seçimine İlişkin Bir Sistem Yaklaşımı

Özgü AYDOĞDU

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Ezgi KORKMAZ

Yangın cephelerde meydana geldiğinde kontrolsüz bir şekilde ilerleyebilmekte ve yangın sırasında malzemelerin yanmasıyla açığa çıkan ısı, alev, duman ve zehirli gazlar can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Yangını tamamen önlemek mümkün olmamakla birlikte, alınacak önlemler ile olası bir yangın sırasında meydana gelebilecek risklerin önemli ölçüde önlenmesi mümkündür. Yangın yapıda farklı şekillerde yayılmakta ve cepheler ise yapıda yangın güvenliği açısından önemli ölçüde risk taşımaktadır. Alevler cephe üzerinden hızlı bir şekilde ilerleyip üst katlara taşınarak, yangının kontrolsüz bir şekilde büyümesine neden olmaktadır. Her bir cephe türü farklı yangın riskleri barındırmasının yanında, cephelerde kullanılacak olan malzemeler de yangının ilerlemesinde etkilidir. Bu bağlamda, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında, mimari tasarım aşamasında cephe yapım sistemleri ve malzemelerin eş zamanlı olarak ele alınması cephelerde yangın kaynaklı risk ve tehlikelerin en aza indirilmesinde önem taşımaktadır.

Çalışmada, cephelerde olası bir yangın sırasında risk oluşturabilecek etmenler literatür taraması yolu ile araştırılarak, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında alınması gereken önlemler ulusal ve uluslararası yangın yönetmelikleri karşılaştırılarak alınmıştır. Cephe malzemelerinin yangının oluşmasında, ilerlemesinde ve yayılmasındaki etkileri nedeniyle malzeme grupları kendi içlerinde alt başlıklara ayrılarak avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, cephede kullanılan malzemeler ise, konvansiyonel ve nano-malzemeler olmak üzere, iki başlıkta ele alınarak incelenmiştir. Özellikle, cephelerde kullanımı giderek artan ve yeni bir malzeme üretim teknolojisi olan nanoteknoloji ile üretilmiş

olan nano-malzemelerin yangın sırasındaki davranışları hakkında kapsamlı bilgi bulunamaması nedeniyle doğru seçim yapılarak yangın güvenli cephe tasarımında alternatif bir malzeme olabileceği düşünülmüştür.

Çalışmanın ilk bölümünde literatür özeti, amaç ve hipotez açıklandıktan sonra, sonraki bölümde yangın olayı hakkında genel kavramlara ve yangının cephelerde yayılma yollarına değinilmiştir. Üçüncü bölümde, cephe yapım sistemleri sahip oldukları yangın risklerine göre değerlendirilerek, konvansiyonel ve nanoteknolojik cephe malzemeleri pasif yangın güvenlik önlemleri bağlamında ele alınmıştır. Dördüncü bölümde ise, ulusal ve uluslararası yangın yönetmelikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş olup, nano-malzemeler hakkındaki eksiklikler belirtilmiştir. Son olarak, tasarımcılara, uygulayıcılara, üreticilere, araştırmacılara ve kullanıcılara rehber olması ve cephede yangın riskinin en aza indirilebilmesi amacıyla elde edilen tüm verilerin ışığında bir malzeme seçim modeli önerisi hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yangın güvenli cephe tasarımı, cephe malzemeleri, nano-malzemeler, cephede malzeme seçimi, yangın güvenli malzeme seçim modeli

A System Approach For Material Selection In Fire Safety Facades

Özgü AYDOĞDU

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Advisor: Asts. Prof. Ezgi KORKMAZ

When fire occurs on facades, it can progress uncontrollably and the heat, flame, smoke, toxic gases which are released by the burning materials during the fire can cause loss of life and property. Although it is not possible to prevent the fire completely, it is possible to avoid the risks that may occur during a possible fire to a significant extent with the measures to be taken. Fire spreads in different ways in the building and the facade poses considerably risk in terms of fire safety in the building. Moreover, the flames move rapidly over facade and reach upstairs causing to fire to grow uncontrollably. Despite the fact that each type of facade has different fire risks, the materials to be used on the facades are also effective in the progression of the fire. In this context, within the scope of passive fire safety measures, the simultaneous handling of facade construction systems and materials at the architectural design stage is important in minimizing the risks and dangers caused by fire.

For this reason in this study; the factors that may pose risks during a possible fire on the facades are investigated through a literature review. Further than this, the measures to be taken within the scope of passive fire safety measures are analyzed comparatively in conjunction with the national and international fire regulations. Due to the effects of the facade materials on the ignition, progress and spread of fire, the material groups were divided into sub-titles within themselves and evaluated within the framework of their advantages and disadvantages. In this context, the materials used in the facade were examined under two headings, conventional materials and nano-materials. Especially, due to the lack of comprehensive information about the behavior of nano-materials produced with nanotechnology, a new material production

technology, which is increasingly used in the facades, it was thought that it could be an alternative material in fire safe facade design.

In the first chapter, literature summary, purpose and hypothesis are mentioned. In the next chapter, general concepts about the fire event and ways of fire spread on the facades are explained. In the third chapter, facade and building systems are evaluated according to their fire risks. In addition to this, conventional and nanotechnological facade materials are discussed in the context of passive fire safety measures. In the fourth chapter, national and international fire regulations have been examined comparatively and deficiencies about nano-materials have been stated. Finally, in the fifth chapter, a material selection model proposal was prepared in light of all the data obtained in order to guide designers, practitioners, manufacturers, researchers and users and to minimize the risk of fire on the facade.

Keywords: Facade Fire Safety, facade materials, nanomaterials, material selection on facades, fire safed material selection model

1.1 Literatür Özeti

Yangın, can ve mal güvenliğini tehdit eden afetlerden birisidir. Yapılarda yangın olayı, yangın oluşumunun tamamen önlenemez olmaması nedeniyle yapıdaki risk kaynaklarının başında gelmektedir [1]. Yapıda kullanılan ürün ve malzemelerin yanma sırasında gösterdiği akıcılık, damlayıcılık, duman ve gaz üretimi özellikleri olası yangının şiddeti bakımından önem taşımaktadır. Tüm bunlara rağmen, olası yangın senaryoları iyi kurgulandığında ve gerekli önlemler alındığında yapıda zararlar en aza indirilebilmektedir.

Cepheler ise, yapının dış ve iç mekanları arasındaki etkileşimi sağlayan ara yüz olması nedeniyle, yapıda yangın güvenliği açısından ele alınması gereken önemli yapı öğelerinden birisidir. Dış mekânda oluşan veya alt katlardaki bir iç mekânda meydana gelen bir yangında alevlerin pencere açıklıklarından ilerleyerek kaplama malzemeleri üzerinden üst katlara kadar yayılabilmesi, cephelerde kullanılan malzemelerin seçiminde yanıcılık özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yanıcı özellikteki malzemelerin cephelerde kullanılması; ufak bir ısı kaynağı ile bile cephe kaplama malzemelerinin yüzeylerinin tutuşmasına ve atmosferdeki oksijenle birlikte alevlerin yüzeyde hızla yayılmasına neden olabilmektedir [2, 3].

Son yıllarda, teknolojiye ileriye adımlar sonucunda artan cephe kaplama malzemelerinin çeşitliliği ve yüksek katlı yapı sayısına paralel olarak, cephe kaynaklı yangın sayılarında artış görülmekte ve bunlardan bazıları ise, can ve mal kayıpları ile sonuçlanmaktadır. 2000 yılından itibaren sayıları giderek artan yüksek katlı yapılarda meydana gelen yangınların bir kısmının ciddi kayıplara neden olduğu görülmektedir. Özellikle, yapıyı son 10 yılda tamamlanan yapılarda meydana gelen yangınlar incelendiğinde, yapıların cephelerinde kullanılan cephe kaplama ve yalıtım malzemelerinin yangının gelişmesinde etkili olduğu gözlemlenmektedir [4] Tablo 1.1’de 2010-2020 yılları arasında yüksek katlı yapılarda meydana gelen cephe yangınları ve sonuçları listelenmektedir.

Tablo 1.1 2010-2020 yılları arası yüksek katlı yapılarda meydana gelen cephe yangınları ve sonuçları [5–19]

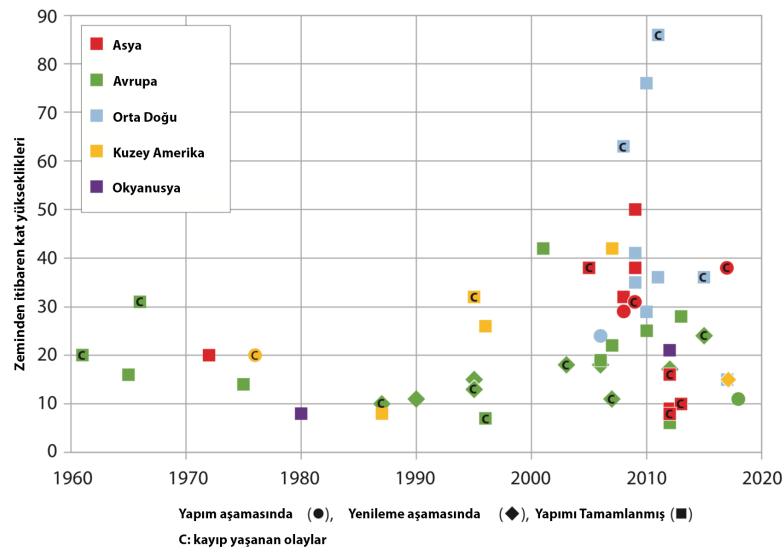
Yangının Meydana Geldiği Yapı	Yer: Şehir/ Ülke	Yıl	Kat Sayısı	Ölü ve/veya Yaralı Sayısı	Toplam Mâli Kayıp
Wooshin Golden Suites	Busan/ Güney Kore	2010	38	5 yaralı	3.3 Milyon \$
Konut Yapısı	Şanghay/ Çin	2010	28	58 ölü, 71 yaralı	25.8 Milyon \$
Wanxin Kompleksi	Shenyang/ Çin	2011	(Kule) A: 45 B: 37 C: 37 D: 10	-	483.8 Milyon \$
Mermoz Tower	Roubaix/ Fransa	2012	18	1 ölü	5 Milyon €
Polat Tower	İstanbul/ Türkiye	2012	44	-	Bulunamadı
Tamweel (Al Seef) Tower	Dubai/ UAE	2012	34	-	21 Milyon \$
Otel ve İş Merkezi	Grozny/ Çeçenistan	2013	40	-	Bulunamadı
Lacrosse Tower	Melbourne/ Avustralya	2014		-	6 Milyon \$
Marina Torch Tower	Dubai/ UAE	2015	82	7 yaralı	Bulunamadı
Konut Yapısı	Bakü/ Azerbeycan	2015	16	16 ölü, 63 yaralı	Bulunamadı
Nasser Tower	Sharjah/ UAE	2015	32	19 yaralı	Bulunamadı
Hotel The Address	Dubai/ UAE	2015	63	-	Bulunamadı
Grenfell Tower	Londra/ İngiltere	2017	24	71 ölü	200 Milyon Sterlin £ – 1 Milyar £
Marina Torch Tower	Dubai/ UAE	2017	82	-	Bulunamadı
Konut Yapısı	Jecheon/ Güney Kore	2017	8	29 ölü	Bulunamadı
Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İstanbul/ Türkiye	2018	11	-	Bulunamadı

Tabloda verilen yangın olayları incelendiğinde, cephede meydana gelen yangınların bir çoğunda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Yangın güvenli yapı tasarımı kapsamında malzeme kaynaklı riskler göz önüne alınmadan seçilen malzemeler nedeniyle, özellikle yüksek katlı yapılarda çok sayıda can kaybının yaşanmasına neden olmaktadır. Meydana gelen olumsuzlukların tekrar yaşanmaması adına, yaşanan yangınlardan elde edilen tecrübe ve çıkarılacak dersler doğrultusunda yönetmeliklerin ve denetleme süreçlerinin yeniden gözden geçirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Örneğin, 82 katlı bir yüksek yapı olan Marina Torch Tower’ da yaşanan yangından sadece iki yıl sonra kullanılan cephe malzemesi nedeniyle tekrar bir yangın yaşanmış, ancak şans eseri can kaybı meydana gelmemiştir.

Buna ek olarak, yapılarda meydana gelen cephe yangınlarının sayısının son on yılda giderek artmasında;

- Cephelerde kullanılacak malzemelerin maliyeti düşünülerek yangın performanlarının ikinci planda tutulması,
- Yönetmelikler kapsamında yüksek yapılarda hiç yanmaz özellikte olan malzemelerin kullanımının zorunlu tutulması veya,
- Uygulama sırasında göz ardı edilen detaylar büyük rol oynamaktadır.

Yangınların çıkış nedeni olarak; dikkatsizlik, teknik sorunlar, hatalı uygulamalar veya çevre yapılarda meydana gelen yangınlar gösterilebilmekte, ancak yapıların mevcut durumları da yapıda yangın riskine neden olabilmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çeşitli yıllarda yaşanan cephe yangınları sırasında yapıların mevcut durumu [4]

Yangın olaylarının yaşandığı yapıların kat sayıları, mevcut durumları ve bulundukları bölgeleri temel alınarak hazırlanan çizelgede ilk olarak, 2000 yılından itibaren yangın olaylarının sayısında artış yaşandığı ve özellikle 2010 yılından itibaren bu artışın ivme kazandığı söylenebilmektedir. İkinci olarak, 30 kata kadar meydana gelen yangın olaylarının çoğunluğu Avrupa’ da görülürken; 30 kat ve sonrasında yaşanan yangınların büyük bir kısmının Orta Doğu ve Asya’ da meydana geldiği görülmektedir. Şekil 1.1’de göze çarpan bir diğer detay ise, yangın olaylarının önemli bir bölümünün inşaat aşaması tamamlanmış olan yapılarda meydana gelmiş olduğudur. Öte yandan, yapımı devam eden veya yenileme çalışmalarının sürdürüldüğü yapılarda da çeşitli nedenlerle yangın olayının yaşandığı görülmektedir.

Tipik bir bina cephesinde, her biri farklı termo-fiziksel özelliklere sahip malzemelerden oluşturulmuş bileşenler kullanılmaktadır. Malzemelerin yanıcılık özellikleri yangın sırasında büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Farklı katmanların bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş konvansiyonel panel kaplamalı cephelerde yangın çıkma riskinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir [4]. Cephelerde meydana gelen yangınların büyük çoğunluğu kaplama ve ısı yalıtım malzemelerinin düşük yangın direnim özelliklerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, kaplamalı cephe sistemlerinde kullanılan kaplama malzemeleri, ısı ve su yalıtımı malzemeleri yangın güvenliği açısından önemli olmaktadır. Kaplamalı cephe sistemlerinde kullanılan konvansiyonel malzemeler kaplama ve yalıtım malzemeleri olarak iki başlıkta ele alınmaktadır [20].

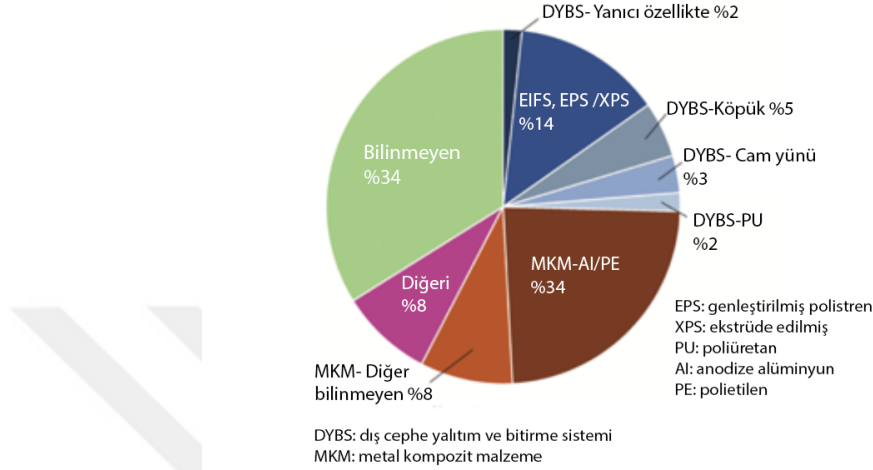
Kaplamada kullanılan ve yanıcılık özelliğine sahip kaplama sistemleri;

- Metal kompozit kaplama,
- Yüksek basınçlı laminatlar,
- Dış cephe yalıtım bitirme sistemleri veya sentetik sıva,
- Yapısal yalıtım panel sistemleri veya sandviç panel sistemleri,
- Çapraz lamine ahşaptan (CLT) oluşan ahşap cephe kaplama sistemleri olarak sıralanabilmektedir.

Dış cephede kullanılan yalıtım malzemeleri ise;

- Genleştirilmiş polistren (EPS) köpüğü,
- Poliüretan (UR) köpük,
- Poliizosiyanürat (PIR) köpüğü,

- Modifiye fenolik köpük,
- Sprey poliüretan (SPF) köpük,
- Hücresel cam yalıtımı (CG), cam elyaf veya cam yünü,
- Mineral yün olarak sıralanmaktadır (Şekil 1.2), [20]



Şekil 1.2 Cephelerde malzemelerin kullanılma oranları [5].

Yapılarda kullanılan yapı ürünlerinden ve üretildikleri malzemelerden kaynaklanabilecek risklerin ön görülmesi ve önlem alınabilmesi amacıyla malzeme özelliklerinin bilinmesi yapıda doğru ürün seçimi açısından önem taşımaktadır [21]. Cephelerde yangın güvenliği riskinin, doğru tasarım kararları, malzeme seçimi ve uygulamayla en aza indirilmesi mümkün olmaktadır. Bu bağlamda cephelerde alınacak olan yangın güvenlik önlemleri aktif ve pasif yangın güvenlik önlemleri olmak üzere iki şekilde değerlendirilmektedir.

Aktif yangın güvenlik önlemleri binaların yapımı sırasında veya daha sonradan eklenen, yangın sırasında uyarı sistemleriyle devreye giren ve erken müdahaleye olanak sağlayan güvenlik önlemlerinden oluşmaktadır [1, 22, 23]. Yangının yayılmasını engelleyip sınırlandırarak, tahliye ve söndürme çalışmalarını kolaylaştıran sistemler aktif yangın güvenlik önlemleri arasında sayılmaktadır. Bu önlemler;

- Yangın algılama ve uyarı sistemleri,
- Yangın engelleme ve söndürme elemanları olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır [1,22,23].

Pasif yangın güvenlik önlemleri, binanın kullanım amacına göre, mimari tasarım sürecinde alınan strüktür, yapı elemanları ve malzemelerinin seçimi ile ilgili kararların doğru uygulanması ve denetlenmesi olarak tanımlanmaktadır [1, 22, 23].

Doğru malzeme seçimi yangın gibi tehlikeli olaylarda yaşanabilecek olumsuzlukları en aza indirebilmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, tasarımcılara, üreticilere, uygulayıcılara ve kullanıcılara rehber olmak adına, yapı malzemeleri ulusal ve uluslararası yangın standartları ve yönetmeliklerinde belirli ölçütler çerçevesinde değerlendirilmekte ve sınıflandırılmaktadır.

Cephelerde kullanılan konvansiyonel malzemelere alternatif olarak, gelişen teknolojiyle birlikte yapılarda farklı malzemeler de kullanılmaktadır. Konvansiyonel yapı malzemelerinde istenilen özelliğin geliştirilmesine ve performansının artırılmasına olanak tanıyan nanoteknoloji, malzeme alanında gelişen teknolojinin yapı sektöründeki önemli yansımalarından birisi olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde nanoteknoloji; tıptan, tekstile, havacılıktan, enerji sektörüne kadar oldukça geniş bir alanda tercih edilirken, yapı sektöründe başta cepheler olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır.

Vural N.' ye göre nanoteknoloji temelde malzemelerin nano ölçekteki moleküler davranışlarını inceleyerek makro ölçekteki yeni malzemelerin oluşması için gerekli alt yapıyı oluşturmaktadır [24]. Nano malzemeler mimaride; çatılarda, cephelerde, döşemelerde, taşıyıcı sistemde, servis elemanları ve dekoratif elemanlarda kullanılmaktadır. Yapıda sağladığı olumlu özellikler; yalıtım, çizilmelere ve darbelere karşı dayanım, anti bakteriyel özellik, parmak izi önleme, yansıma oluşumu önleme, yüzeylerde su buharı oluşumu önleme, UV korunumu, güneş denetimi, arttırılmış yük dayanımı ve yangın direnimi olarak sıralanmaktadır [25]. Nano ölçekteki malzemeler kullanıldıkları alanlarda üstün işlevsellik, mukavemet artışı, elektrik ve ısı iletiminde performans artışı, esneklik, hafiflik gibi özellikler göstermektedir [24]

Yapılarda yangın güvenliği hakkında ulusal ve uluslararası alanlarda çeşitli standart ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Bu standart ve yönetmeliklerde konvansiyonel yapı malzemeleri yangın sırasındaki performansları ve yangın direnirlik özellikleri doğrultusunda ele alınmaktadır. Ancak, nano malzemelerin güvenlik özellikleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, yeni bir malzeme türü olan ve yapılarda kullanımı giderek yaygınlaşan nano malzemelerin yangın gibi afetlerde neden olabileceği riskler ön görülememektedir. Yapıda kullanılacak nano malzemelerin seçim aşamasında malzemenin sahip olduğu olumlu ve olumsuz özelliklerin tümünün değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğru malzeme seçiminde standartların denetleme ve yönlendirme mekanizması olarak görev yaptığı görülmektedir. Ancak, Nanoteknolojileri Standartlaştırma Komitesi (UK NTI/1 ve ISO TC 229) nanoteknolojinin gelişmelere açık ve sorunsuz bir şekilde ticarileşmesi için standartların birtakım alanlarda gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda standartların gerekli olduğu alanlar;

- Üretilen malzemelerde kalite kontrolü,
- Malzemenin üretimini destekleme,
- Nanoteknoloji kapsamındaki avantajlar ve potansiyel sorunlarla ilgili danışmanlık yapma ,
- Doğru malzeme seçimi ve güvenli bir şekilde kullanılması hakkında mevzuat oluşturma, düzenleme,
- Patent alma konusunda yönlendirme,
- Çalışanların, toplumun ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilecek durumlara belirleyip, denetleme olarak sıralamaktadır [26].

Yangın olayının, Nanoteknolojileri Standartlaştırma Komitesi tarafından belirtilen, toplum ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilecek durumların başında geldiğini söylemek mümkündür. Özellikle, yangın güvenliği bakımından değerlendirildiğinde standartlar, nanoteknolojik malzemelerin yangın sırasındaki davranışlarının ön görülmesi, yangının neden olabileceği olası risklerin belirlenmesi ve önlem alınması doğrultusunda, mevzuat oluşturma ve denetlemede önem taşımaktadır.

Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik incelendiğinde pasif yangın güvenlik önlemleri altında malzeme seçiminin konvansiyonel yapı malzemeleri ile sınırlı olduğu ve nano malzemeler hakkında bilgi olmadığı görülmüştür. İncelenen;

- BYKHY (Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik),
- NFPA 101 (National Fire Protection Association 101, ABD),
- NFPA 5000 (National Fire Protection Association 5000, ABD),
- IBC (International Building Code, ABD),
- BS (British Standards Institution, İngiltere),
- UAE Civil Defence Fire Code (BAE),
- NCC (National Construction Code), Building Code Of Australia (Avustralya),
- New Zealand Building Code, Acceptable Solution (Yeni Zelanda) gibi uluslararası standart ve yönetmeliklerde de nano malzemelerin yangın davranışı ile ilgili kapsamlı bir bilgiye ulaşılammıştır [27–36].

NFPA tarafından yayınlanan 14- NFPA 652- 2016 numaralı raporda da standartların nano malzemelere uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve nano malzemeler hakkındaki bilgi eksikliğinden dolayı 2019 baskısında nano metaller hakkında yeni bir bölüm eklenmesine karar verildiği belirtilmiştir. Öte yandan, yayınlanan raporda nano-parçacıkların yalnızca yanma ve patlama tehlikeleri değerlendirilmiş olup, nano-malzemeler ve cephelerde yangın korunumu sağlanmasına ilişkin ayrı bir test standardı veya denetleme mekanizmasından bahsedilmediğinden yönetmelikte konu hakkındaki bilgi eksikliği giderilmemiştir [37].

Yangının büyüklüğü malzeme ile ilgili olarak, yanıcı malzemenin türüne, miktarına, yanma hızına ve dağılımına bağlı olmaktadır. Yanıcı malzemenin yapısı açığa çıkan duman miktarını ve yangının yayılımını da etkilemektedir [38]. Yapılarda olası bir yangın karşısında nano yapı malzemelerinin vereceği tepkiler ve oluşturacağı riskler hakkında yeterli bilgiye ulaşılamaması ise tasarımcılar, üreticiler, uygulayıcılar ve kullanıcılar açısından yaşanabilecek risklere karşı önlem almayı zorlaştırmaktadır. Nano malzemelerde yangın güvenliği hakkında yönetmelik ve standartlara ek olarak, konu hakkındaki akademik çalışmalar da araştırılmış, ancak yapılarda kullanılan nano malzemelerin yangın direnirlik özellikleri ve oluşturabilecekleri riskleri bütüncül ve detaylı olarak ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kullanım alanı giderek artan bu malzemelerin sahip olabilecekleri risklerin bilinmemesinin, çevre ve kullanıcı güvenliği açısından pek çok tehlikeyi beraberinde getirebileceği düşünülmektedir. Nano yapı malzemelerinin yangın direnirlik özelliklerinin bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla ele alınması, yangın gibi can ve mal kayıplarına yol açabilecek bir olay karşısında yaşanabilecek riskleri ön görmek ve önlem almak adına büyük önem oluşturmaktadır. Buna ek olarak, konvansiyonel cephe malzemelerinin de yangın güvenliği kapsamında seçimiyle ilgili bir yaklaşımın olmaması, tasarımcılar ve uygulayıcılar açısından zorluklar yaratmaktadır. Tez kapsamında, pasif yangın güvenlik önlemlerinin alt başlıklarından bir tanesi olan malzeme seçimiyle ilgili olarak, cephelerde kullanılan konvansiyonel malzemeler ve nanoteknolojik malzemelerin yangın güvenliği özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, elde edilen veriler bir araya getirilerek, seçilen yapı türüne göre en uygun malzemenin seçilebilmesi amacıyla bir model önerisi sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Yangın, yanma olayının kontrolsüz bir şekilde yayılmasıyla oluşan ve meydana geldiğinde can ve mal kayıplarına neden olabilen bir olaydır. Özellikle, kapalı mekânlardaki yangınlarda, yanan yapı ürünleri fiziksel ve kimyasal tepkiler vererek ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir. Bu tepkimeler sonucunda açığa çıkan duman

ve gazlar ise canlılarda boğulma, zehirlenme, bilinç kaybı gibi olumsuz etkilere yol açarken, çevre sağlığı açısından da riskler oluşturmaktadır. Cepheler ise, iç ve dış mekân arasındaki etkileşimi sağlayan yapı elemanları olduğundan, cephelerde meydana gelebilecek olası bir yangın, aynı anda hem iç, hem de dış mekânı etkileyebilmektedir. Yapıların tasarım aşamasından itibaren alınan birtakım pasif yangın güvenlik önlemleri ile yangın sırasında yaşanabilecek tehlikelerin önüne geçilmesi mümkün olabilmektedir. Yapıda kullanılacak olan ürün ve malzemelerin proje aşamasından itibaren yangın sırasındaki davranışlarının öngörülerek seçilmesi ve yapım sırasında doğru bir şekilde uygulanması yangın güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Öte yandan, standart ve yönetmeliklerde çoğunlukla, konvansiyonel yapı malzemelerinin yangın direnir özellikleri belirtilmektedir. Günümüzde, nano malzemelerin kullanılmasıyla üretilen performansı artırılmış nano-ürünlerin yapılarda kullanımı giderek artmaktadır. Akıllı çatı ve cephe sistemlerinden, güneş pillerine ve yük dayanımı artırılmış betona kadar pek çok alanda kullanılabilen bu ürünlerin yangın güvenliği açısından yapılara uygunluğu ise yeterince bilinmemektedir.

Son yıllarda meydana gelen cephe yangınlarında oluşan can ve mal kayıpları, cephelerde kullanılacak olan malzemelerin yanıcılık özelliklerinin yangın güvenli yapı tasarımı açısından hayati bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Gelişen malzeme üretim teknolojilerinden dolayı, yapı malzemelerinin çeşitliliğinin büyük bir ivmeyle artması, tasarımcıların ve uygulayıcıların kullandıkları malzemenin yangın direnir hakkında bilgi edinmesini ve bu yönde seçim yapmasını zorlaştırmaktadır. Yaşanan olaylardan elde edilen tecrübeler ulusal/uluslararası standart ve yönetmelikler, güncel olarak kullanılan cephe malzemelerinin yapılarda kullanımlarını belirli ölçütler doğrultusunda sınırlandırmakta ve özel test koşullarını şart koşturmaktadır. Diğer taraftan, özellikle sağladığı avantajlardan dolayı cephelerde kullanımı giderek yaygınlaşan nano malzemelerin yangın direnir özellikleri ve yangın sırasında verecekleri tepkiler (yanıcılık, duman yayılımı ve yanma damlaları/tanecikleri) hakkındaki bilgilerin kısıtlı olması, yapılarda kullanılmaları halinde yaşanabilecek olan tehlikelere ortam hazırlamaktadır.

Cephelerde yaşanabilecek olası bir yangın durumunda, nanoteknolojik özelliklere sahip cephe kaplamalarından kaynaklanabilecek risklerin en aza indirilebilmesi amacıyla, cephelerde kullanılan nano malzemelerin yangın direnir özelliklerinin; tasarımcılar, uygulayıcılar ve kullanıcılar tarafından bilinmesi tezin çıkış noktası olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, nano-malzemelerin konvansiyonel malzemeler ile karşılaştırılarak cephede yangın güvenli cephe tasarımına uygun, enerji korunumu, sürdürülebilirlik, düşük maliyet, daha az bakım ve onarım gerektirme gibi konularda daha çok fayda sağlayıp, kullanıcı gereksinimlerinin tamamına yakınına karşılayan

doğru malzeme seçiminin yapılması ise, tezin önemini oluşturmaktadır.

Çalışma, cephelerde tercih edilecek olan konvansiyonel veya nano özellikli kaplamalar seçilirken yangın durumundaki davranışlarının bilinmesi ve olası risklerin ön görülebilmesi açısından; tasarımcılar, üreticiler ve konu hakkında çalışma yapmakta olan araştırmacılara rehber olmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu doğrultuda, yapılarda kullanılan cephe kaplama malzemelerinin seçimine ilişkin bir model önerisi geliştirilmiştir. Sistem yaklaşımı metoduyla kurgulanan modelde; yangın güvenli cephelerin oluşturulması açısından doğru tasarım, malzeme seçimi ve alınacak olan önlemler adım adım değerlendirilecektir. Bu sayede, olası bir yangının cephelerde ilerlemesi ve yayılması sınırlandırılarak, can ve mal kayıpları en aza indirilebilecektir. Modelin işleyebilmesi açısından, yangın öncesi ve yangın sonrası sistemlerini oluşturan tüm süreç ve alt süreçlerin; tasarımcılar, üreticiler, uygulayıcılar, konu hakkındaki uzmanlar, kurum ve kuruluşlarca eksiksiz bir şekilde uygulanması önem oluşturmaktadır.

1.3 Hipotez

Çalışmada, yangın güvenli cephe tasarımına doğru/uygun malzemelerin seçilmemesinden kaynaklanan cephe yangınlarının ve bu yangınlarda yaşanabilecek can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesinin, cephenin tasarım aşamasından başlayıp, yangın sonrasını kapsayan pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında oluşturulmuş bir planlamayla yapılacak olan malzeme ve cephe yapım sistemi seçimi ile mümkün olabileceği varsayılmaktadır.

Araştırma sırasında, cephe yapım teknikleri ile birlikte ele alınan konvansiyonel malzemeler ve bu malzemelere alternatif olarak üretilen ve son yıllara cephelerde kullanımı giderek artan nano-malzemelerin de yangın güvenli cephe tasarımında kullanılabileceği varsayılarak malzemeler iki grupta ele alınmıştır.

Böylece çalışmanın, tasarım aşamasında yangın güvenli cephe yapım sistemlerinin ve cephe malzemelerinin seçiminde hızlı ve etkin karar verilmesinin sağlanmasında, yapının hizmet ömrü süresince karşılaşılabilecek olası bir sorunda sistem içerisinde geri dönüşler yapılarak çözüm üretilmesinde ve tasarımdan itibaren tüm süreçlerde tasarımcılara, üreticilere, uygulayıcılara ve kullanıcılara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2 CEPHE MALZEMELERİ VE YANGIN

Yapılarda yangın çıkma olasılığını tamamen önlemek mümkün olmadığından, tarihsel süreç içerisinde yangın olgusu sürekli olarak önemini korumuştur. Özellikle, gelişen teknolojiyle birlikte yeni yapı malzemelerinin kullanılmaya başlanması ve bina yüksekliklerinin artmasına paralel olarak artan kullanıcı yükünün son yıllarda binalarda yangın çıkma riskinin arttırdığını söylemek mümkün olmaktadır [2, 22].

Kullanıcı yükünün artması aynı zamanda, yangının neden olabileceği can ve mal kayıplarının da artmasına neden olabileceğinden, bu tür yapılarda alınacak yangın güvenlik önlemleri hayati öneme sahip olmaktadır. Bu nedenle, yapıda malzemeden kaynaklanabilecek yangın risklerine karşı güvenlik önlemlerinin alınabilmesi ve yangının yol açabileceği olumsuzlukların bilinmesi açısından, yangına ilişkin; yapı malzemelerinin yangın sırasındaki davranışlarının, cephe sistemlerinin, kullanılan malzemelerin ve yangının cephede yayılma yollarının bilinmesi önem taşımaktadır.

2.1 Yapı Malzemelerinin Yangın Sırasındaki Davranışı

Yangın sırasında yapı malzemelerinde açığa çıkan alev, duman ve gazlar; açığa çıkan yüksek ısı nedeniyle cilt üzerinde yakıcı etkiye neden olabilmekte ve solunum sisteminde boğucu etki yaparak insan sağlığı üzerinde ciddi hasarlara ve ölüme yol açabilmektedir. Kullanılan malzemelerin özelliğine bağlı olarak ise özellikle kapalı alanlarda meydana gelen yangınlarda patlamalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, yapıda kullanılan malzemeler yangın güvenliği konusunda kritik bir öneme sahip olmaktadır. Yanıcı malzemeler genel olarak yangın sırasında;

- Tutuşma kolaylığı,
- Alevlerin açık yüzeyler üzerindeki yayılma hızı,
- Yanan yüzeyin her birim alanından açığa çıkan en yüksek ısı miktarı,
- Yanan yüzey üzerinde oluşan koruyucu kömür katmanı,

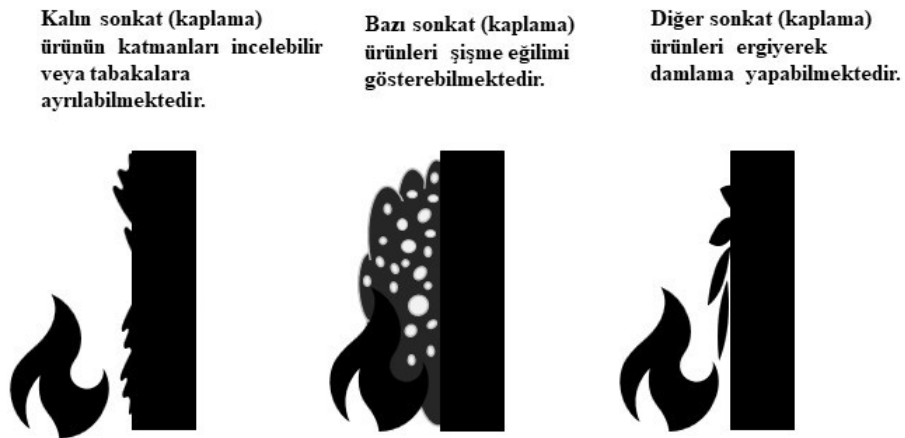
- Yanan malzemenin her gramı için açığa çıkan ürünler (ısı, zehirli gazlar, duman, ergiyerek damlama eğilimi gösterme),
- Söndürme kolaylığı (su, köpük, inert gaz* veya özel söndürücü madde ile) gibi farklı özelliklere sahip olmaktadır [39]

(*) İnert gaz: Kimyasal tepkimeye girmeyen, yanıcı ve yakıcı özelliği olmayan gaz olarak tanımlanmaktadır.

2.1.1 Yangının Yapı Malzemelerinin Yapısında Neden Olduğu Fiziksel ve Kimyasal Değişimler

Malzemeler, yapılarında bulunan atom dizilimlerine göre; kristal, amorf ya da karma yapıda olabilmektedir. Yanmakta olan malzemeden açığa çıkan ısı miktarına bağlı olarak, malzemenin yapısında bulunan atomların titreşim hareketi yapmaya başlamasıyla birlikte, atomlar arası bağlar uzama eğilimi göstermektedir. Bunun sonucunda malzemenin fiziksel yapısında;

- hacim artışı,
- genleşme ve
- ergime gibi değişimlerin gerçekleşmektedir (Şekil 2.1), [40].



Şekil 2.1 Bazı son kat (kaplama) ürünlerinde yangın sırasında meydana gelen değişimler [41]

Malzemenin iç yapısı, ısı iletkenlik katsayısını doğrudan etkilediğinden, bu durum yangın sırasında malzemenin yanmasını da etkilemektedir. Isı iletkenlik katsayısının fazla olduğu malzemelerde ısı iletimi daha hızlı gerçekleşerek, fiziksel bozulmaların

da hızlanmasına neden olmaktadır. Yanma sırasında malzemenin yapısında bulunan kristal suyunun kaybolmasıyla birlikte, malzemenin iç yapısındaki gerilim kuvvetlerinin artması malzemede; çatlaklara, bozulmalara ve parçalanmalara yol açmaktadır [42].

Örneğin, gevrek ve karma yapılu bir malzeme olan beton yangın sırasında 600 °C'ye kadar dayanım gösterebilmektedir. Sıcaklık arttıkça betonda; sarı, pembe ve gri renk değişimleri gözlemlenmeye başlanmaktadır. Yanmanın devam etmesiyle birlikte, kristal suyunu kaybetmeye devam eden betonda iç gerilmeler artarak çatlaklara ve dağılmalara neden olmaktadır. Sünek ve kristalli yapıya sahip bir malzeme olan çelik ise, 400 °C'a kadar dayanım gösterebilmektedir. Bu değerin üzerindeki sıcaklıklarda ise, çeliğin elastikiyet modülünün azalmasıyla birlikte, malzeme akma eğilimi göstermeye başlamaktadır. Bunun sonucunda, yangın ilerleyen aşamalarda çelik taşıyıcı sistemin çökmesine ve yıkılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, yangın sırasında çelik ve betonun genleşme katsayıları arasında büyük fark oluşmaktadır. Amorf molekül yapısına sahip, doğal bir malzeme olan ahşap ise, kesit alanına bağlı olarak, 250 – 300 °C'de tutuşmaya başlamaktadır. Masif ahşap malzeme üst yüzeyinde koruyucu kömür tabakası oluşturarak yangının ilerlemesini yavaşlatmaktadır [42].

Poliüretan gibi gözenekli yapıya sahip olan yapı malzemeleri içten yanma eğilimi göstermektedir. Gözenekli malzemeler yandığında, alevler dışarıdan görülmemekte ancak iç kısımda kor halinde yanmaya devam etmektedir. Bu nedenle, zayıf ısı iletkenliğine sahip olmakta ve yanma reaksiyonu yavaş gerçekleşmektedir. Öte yandan, yanmanın ilk aşamasında sadece 5- 10 cm uzaklığa yayılmakta olan alevler, ortamda bulunan ısı ve oksijenin yeterli seviyeye gelmesiyle birlikte, birden parlama eğilimi gösterebilmektedir [41].

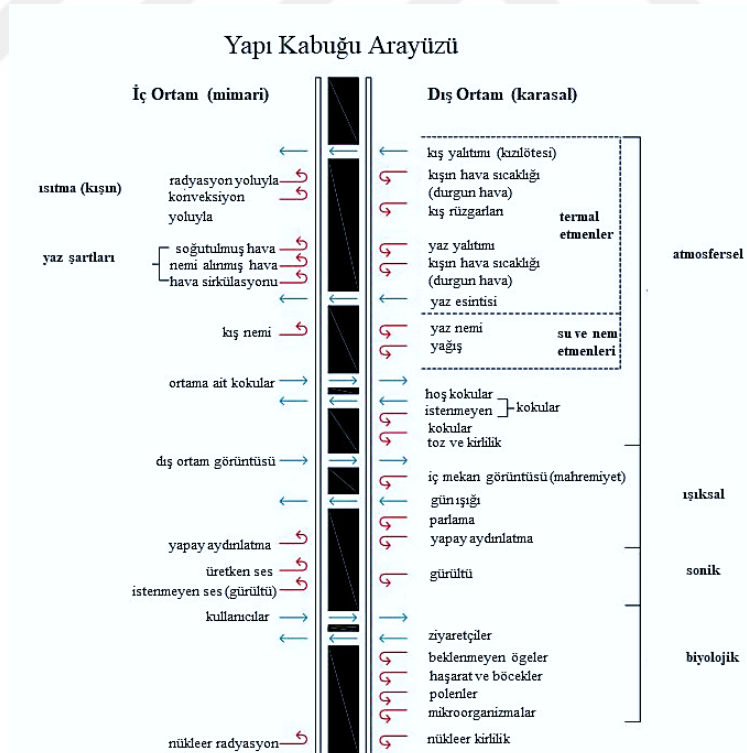
Yanma olayının kimyasal bir tepkime olması nedeniyle, yanma sırasında malzemenin yapısında oluşan karbonatlaşmaya ve molekül yapısının bozulmasına bağlı olarak bir takım kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Yanan malzemenin, inorganik (beton, taş) ya da organik (bitüm, plastik, ahşap) kökenli olmasına bağlı olarak, yangın sırasında açığa çıkan yanma ürünleri de değişiklik göstermektedir. Örneğin, İnorganik kökenli malzemelerin yapısında bulunan kalsiyum karbonat (CaCO_3), kalsiyum sülfat (CaSO_4), kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) bileşikler açığa çıkarırken; organik kökenli malzemelerden, C_2 , H_2 , N_2 , S_2 elementleri açığa çıkarak malzemenin yapısında bozulmalara yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, ortama yayılan karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), kükürt trioksit (SO_3) gazları da zehirleyici özelliğe sahip olmaktadır [40, 42].

Kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, malzemenin yangın sırasındaki

davranışlarını etkilediğinden cephelerde yangın senaryosu kurgulanırken malzemenin yapısının bilinmesi önem oluşturmaktadır. Malzemenin iç yapısının bilinerek, yangın sırasındaki davranışlarının ön görülmesi cephelerde yangın riskini en aza indirmede katkı sağlayacaktır. Buna ek olarak, cephelerde olası yangın senaryoları kurgulanırken malzeme davranışlarının yanı sıra, cephede yangın oluşumu ve yayılma yollarının da ön görülmesi yangın güvenli cephe tasarımı açısından doğru tasarım kararlarının alınmasına katkı sağlayacaktır.

2.1.2 Cephe Kavramı ve Cephede Yangın Oluşumu

Cephe kavramı Schittich tarafından, dış ortamı iç ortamdaki ayıran ve aynı zamanda bu iki ortamı birbirine bağlayan bir yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır [43]. Başka bir tanımda ise, dış ortam ile iç ortamı, diğer bir deyişle doğayı ve insan tarafından kullanılmakta olan iç mekânları, birbirinden ayıran ve bu mekânlar arasındaki geçişi filtreleyen bir katman olarak yorumlanmaktadır [44]. Zamanla çevresel koşulların değişmesi nedeniyle, yapı kabuğu sadece bir koruma bariyeri olarak değil aynı zamanda, seçici geçirgen ve/veya filtreleyici bir zar olarak da kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 2.2), [45].



Şekil 2.2 Yapı kabuğunun iç ve dış ortam arasında üstlendiği görevler [45]

Tarihsel süreç içerisinde çok sayıda değişikliğe ve yeniliğe uğrayan cepheler, ilk olarak ilkel zamanlarda insanların dış ortamdaki tehlikelerden korunma ve barınma

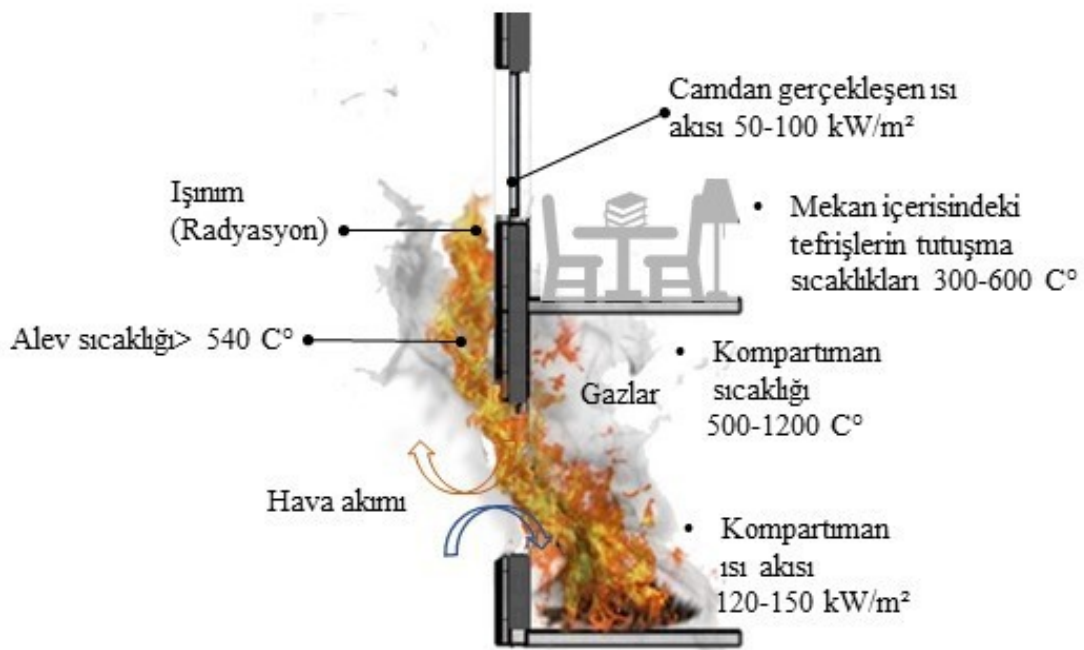
ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla inşa ettikleri bir kabuk görevi görmekteydi. Zamanla insanlar tarafından ev, anıt ve tapınak gibi yapıların kabuklarında meydana getirilen değişikliklerle birlikte, cephe kavramı farklı bir boyut kazanmaya başlamıştır. Zaman içerisinde, insanların yaşam biçimlerine (yerleşik veya göçebe) bağlı olarak; işlevsel, tasarımsal veya teknik gereksinimlerden dolayı dış duvar ve cephe formlarında değişimler meydana geldiği gözlemlenmektedir [44, 46]. Tehlikelerden koruması amacıyla inşa edilen kabuklarda pencere açıklıkları ve duvarlar arasındaki ilişki, insanların çeşitli dönemlerdeki ihtiyaçları doğrultusunda değişimler göstermiştir. Yeni malzeme üretim ve bina yapım yöntemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, yük taşıyan ağır duvarlardan kaynaklanan kısıtlamalardan sıyrılan cephelerde cam malzeme kullanılmaya başlanmış ve i mekânda gün ışığına duyulan ilgi giderek artmıştır [44].

Modern cephelerin ise, 19. yüzyılda endüstrideki gelişmelerin bir sonucu olarak, yapılarda kullanılmaya başlanan elik ve betonarme çerçeveli strüktürlerin yanı sıra, demir ve cam gibi malzemelerin de yapı kabuğunda kullanılmaya başlanması ile ortaya çıktığı görülmektedir [47].

Günümüzde, CAD/CAM (bilgisayar tabanlı tasarım/ bilgisayar tabanlı üretim) gibi gelişmiş üretim teknolojileri sayesinde üretilen yeni malzemeler ve uygulama yöntemleriyle birlikte cephelerde önemli gelişmeler yaşandığı gözlemlenmektedir. Özellikle, akıllı malzeme kavramının ortaya çıktığı 1992 yılından bu zamana kadar olan süreçte malzeme dünyasında pek çok yenilik birbiri ardına yaşanmaktadır [48] Beton, plastik, cam, ahşap, metal ve toprak esaslı konvansiyonel kaplama malzemelerinin yanısıra belirli bir performansa yönelik olarak üretilen akıllı malzemeler ve bu grubun altında incelenen nano malzemeler de cephelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede cephelerde, kendini temizleyebilen, leke veya boya tutmayan kaplamalar ya da güneş ışınlarının geliş açısında göre renk değiştiren camlar gibi yeniliklerin kullanımı mümkün olmaktadır [25, 46]. Öte yandan, cephe malzemelerindeki çeşitliliğin hızla artması, malzemelerin kullanımının yapılarda neden olabileceği riskler hakkındaki standartların oluşturulması ve yönetmeliklerde yer alması uzun bir süre gerektirmektedir. Özellikle, yapılarda kullanımı giderek artan nano-malzemelerin yapıların yaşam döngüleri boyunca göstereceği performans özelliklerinin ve yangın gibi olumsuzluklar karşısında bu malzemelerden kaynaklanabilecek tehlikelerin tam olarak saptanmadan piyasaya srlmesi evre ve kullanıcı güvenliği açısından üzerinde durulması gereken bir konu olarak görülmektedir.

Cephelerde yangın ise, çevresel koşullar, yüzeylerin tutuşma kolaylığı, alevlerin malzeme yüzeyleri üzerinde ilerleme hızının yüksek olması ve müdahale sırasında st katlara erişim zorluğundan dolayı yapılarda büyük bir risk kaynağı olarak

Yangının çevre yapılara sıçraması ise, yanan yüzeylerden kopan parçalar, rüzgarla taşınan ısı veya radyasyon nedeniyle gerçekleşmektedir. Isınan cephe kaplama malzemesinin yüzeyinin tutuşmaya başlaması yeni bir yangının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Şekil 2.3) [2].

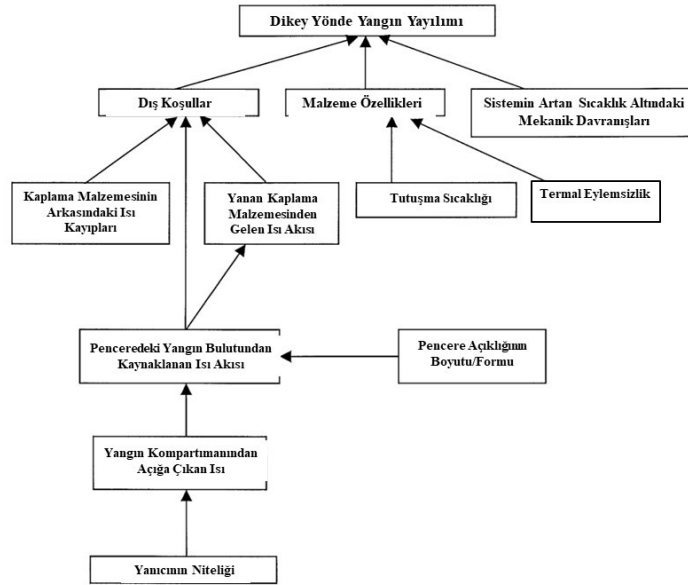


Yapılarda yangın cepheler üzerinden katlar arasında çeşitli yollardan ilerleyebilmektedir. Bu yollar;

- Yanıcı özellikteki cephe kaplama malzemeleri,
- Yüzeydeki dışarı bakan pencere veya menfez açıklıkları,

- Dış duvar ve döşeme arasındaki hasarlı veya hatalı uygulanmış birleşim noktaları ve derz açıklıkları,
- Tavan ve döşeme arasındaki hasarlı veya hatalı uygulanmış yangın bölücüler,
- Servis amaçlı havalandırma kanalları ve boşluklar,
- Metal ve alaşımların ergimesi,
- Servis şaftları,
- Merdivenler olarak sıralanmaktadır [50–52].

Cephelerde kullanılan kaplama malzemelerinin yanıcılık özellikleri, yapıda pasif yangın güvenliği açısından önem oluşturmaktadır. Özellikle, günümüzde önem kazanan enerji korunumu ilkesi nedeniyle, yeni malzemeler üretilmekte ve cephelerde kullanılan katman sayısı artarak yapılarda meydana gelen yangın olaylarının da artmasına neden olmaktadır (Şekil 2.4), [49].

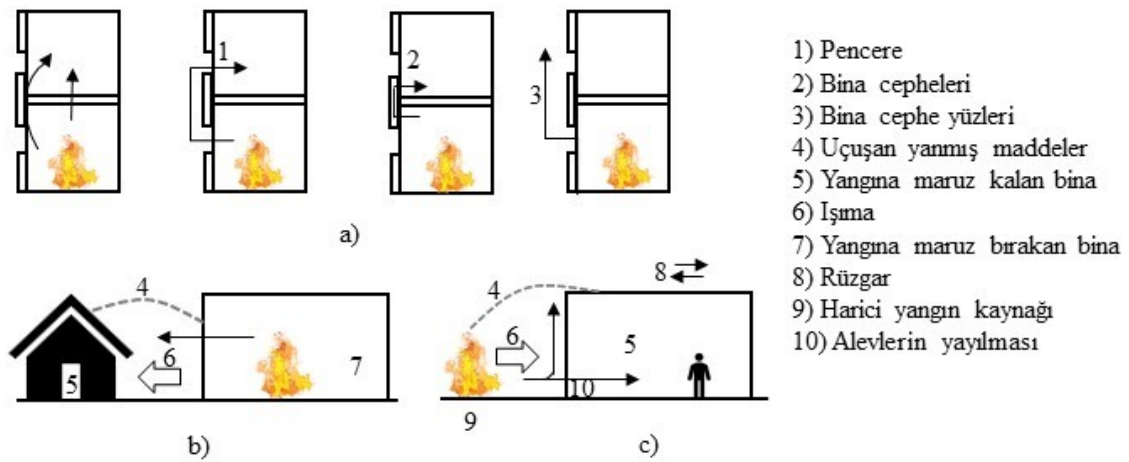


Şekil 2.4 Dış cephe kaplama malzemesinde dikey yönde yangın yayılımına etki eden faktörler [50]

Yapıda belirli bir katta meydana gelen yangında büyüyen alevlerin pencerelerden sızması veya ortaya çıkan duman ve gaz bulutunun yarattığı ısının ışıyım yoluyla taşınması üst katlardaki veya bitişik duvardaki cephe kaplamalarının tutuşmasına sebep olabilmektedir. Pencere veya menfez açıklıklarının büyüklüğü, konumu ve iç mekanda meydana gelen yangının büyüklüğü yangının cepheye ulaşmasına doğrudan etki etmektedir. Alevler alt kattaki bir pencereden üst kattaki pencereye sıçrayarak

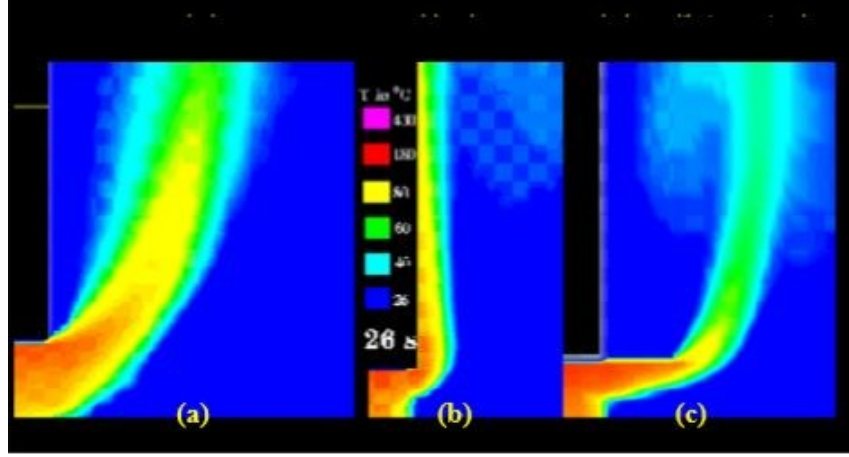
katlar arasında yayılabilmekte, bu nedenle özellikle yüksek katlı yapılarda yangın önemli bir risk kaynağı olmaktadır. Dış duvar ve zemin döşemeleri arasındaki hasar veya hatalı uygulama nedeniyle meydana gelen çatlaklardan da alev ve gazlar üst katlara ulaşabilmektedir

Servis şaftları, merdiven kovaları ve havalandırma kanalları yangın korunumlu olarak tasarlanmadığında ise baca olarak çalışabilmekte ve alevlerle birlikte duman ve gaz bulutunun yukarı yönde hızlı ve yoğun bir şekilde iletimine neden olabilmektedir. Yoğun ısı artışının meydana geldiği yangınlarda cephelerde kullanılan metal veya alaşım kaplamalar ergiyerek veya koparak çevreye saçılma eğilim göstermekte ve bu durum yangının çevre yapılara da sıçramasına yol açabilmektedir (Şekil 2.5), [50].



Şekil 2.5 Cephelerde yangının yayılma yolları [51]

Cephe geometrisi de, yangının cephelerde ilerlemesine doğrudan etki eden öğelerden biri olmaktadır. Yapılarda genel olarak, yatay ve dikey olmak üzere iki tür çıkıntı bulunmakta ve bu çıkıntılar olası bir yangın sırasında üst yüzeyde kalan dış duvarları korumak amacıyla tasarlanabilmektedir. Yatay yönde kullanılan çıkıntılar pencere açıklığı üzerine uygulanmış olan kanopi, balkon olarak, dikey yönde ise, yanmaz malzemelerden oluşturulan ve açıklık bulundurmeyen elemanlar olarak tanımlanabilmektedir [49, 50]. Buna ek olarak pencere genişlikleri de yangının cephede ilerlemesine etki etmektedir. Greenwich Üniversitesi tarafından yürütülen bir çalışmada pencere açıklıklarının alev diline olan etkisi araştırılmış ve çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 2.6' da verilmiştir.

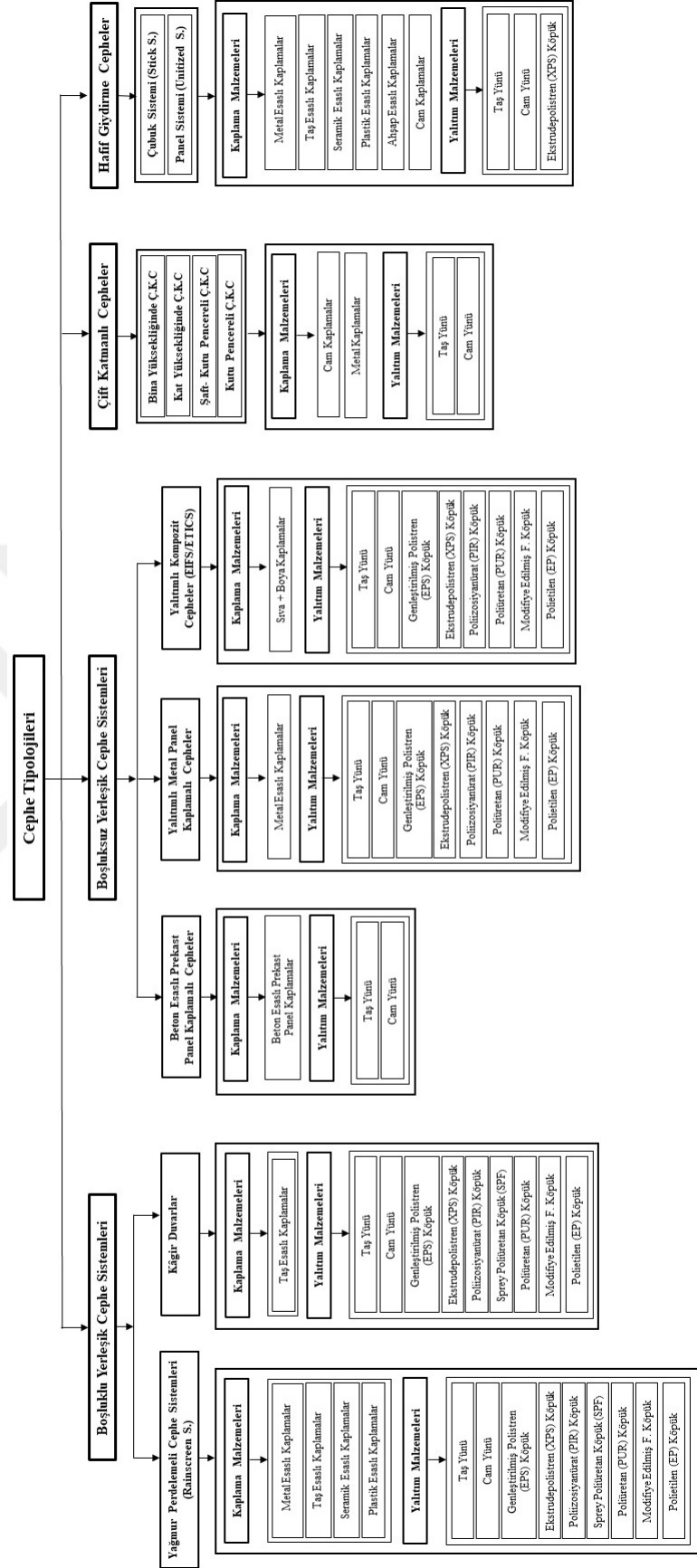


Şekil 2.6 Pencere açıklıklarının yangın üzerindeki etkileri a) dar pencere, b) geniş pencere, c) üzerinde çıkıntı bulunan yatay pencere [53]

Dış duvara uygulanan yatay panellerin alev dili üzerindeki etkilerinin incelendiği deneyde, yatay yangın saptırıcı panel uygulanan pencere üzerindeki duvarda % 90 daha az ısı akışı olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, dikey çıkıntıların alev dilini yönlendirerek, cephe yüzeyinde ilerlemesine neden olduğu ve dikey yüzeydeki ısı akışının % 50 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle, pencere açıklıklarının genişliği ve dikey yöndeki gölgeleme elemanları gibi çıkıntıların varlığının yangının cephe yüzeyinde ilerlemesinde etkili olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

2.2 Cephe Sistemleri ve Yangının Yayılma Yolları

Yönetmelikler kapsamında; enerji korunumu, termal ve akustik konfor sağlamak amacıyla, kaplama malzemelerinin arkasında bir takım yalıtım malzemeleri de uygulanmakta ve içeriklerine göre yalıtım malzemeleri de yanmaya katılabilmektedir. Bu nedenle, dış cephe kaplama sistemlerinin de yangın güvenliği kapsamında ayrıca ele alınması gerekmektedir. Yangın güvenliği kapsamında, yapıda yarattıkları riskler doğrultusunda cephe tipolojileri Şekil 2.7’ de sınıflandırılmaktadır. Buna göre cephe sistemleri; tek veya çok katmandan meydana gelme, katmanlar arasında boşluk bulundurma ve yapım sistemlerine göre değerlendirilerek, dört ana başlıkta sınıflandırılmıştır.

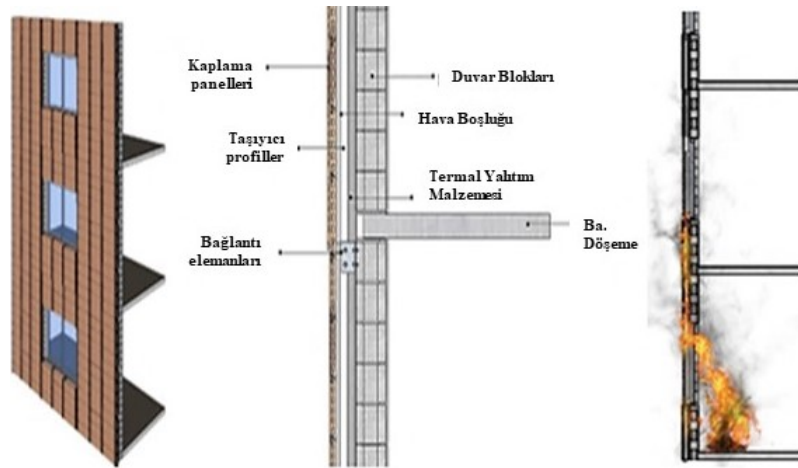


Şekil 2.7 Cephe tipolojilerinin yangın güvenliği kapsamında sınıflandırılması [54]

2.2.1 Boşluklu Yerleşik Cephe Sistemleri

Boşluklu duvar sistemleri genel olarak, iki duvar ve duvarlar arasında bulunan 51 mm-102 mm genişliğinde bir hava boşluğundan meydana gelmektedir. Yapılarda kullanımı giderek artan sistemin, kullanım amacı en dışta bulunan duvara işleyen yağmur suyunun ve nemin damlama delikleri ve iç kısımda bulunan hava boşluğu yoluyla tahliye edilmesini sağlamaktır [55]. Genellikle, dıştaki duvarda yanıcı olmayan (tuğla veya kâgir) malzemelerin kullanıldığı boşluklu duvar sistemlerinde iç duvarda enerji korunumu ve termal etkinliği sağlamak amacıyla yalıtım malzemeleri kullanılabilmektedir. Ancak, yalıtım amacıyla kullanılan köpük malzemeler oldukça yanıcı özellik göstermektedir. Buna ek olarak, sistemde bulunan hava boşluğu da, olası bir yangın sırasında bir baca gibi çalışarak yangının ve yangın sırasında açığa çıkan duman ve gazların kapalı cephe sistemi boyunca hızlı bir şekilde fark edilmeden veya müdahale edilmesine olanak vermeden ilerlemesine neden olabilmektedir. Bu nedenle boşluklu yerleşik duvar sistemlerinin yangın güvenliği açısından riskli olduğu düşünülmektedir. Yağmur perdelemeli cephe sistemleri ve kâgir duvarlar boşluklu cephe sistemleri başlığı altında değerlendirilmektedir [54–56].

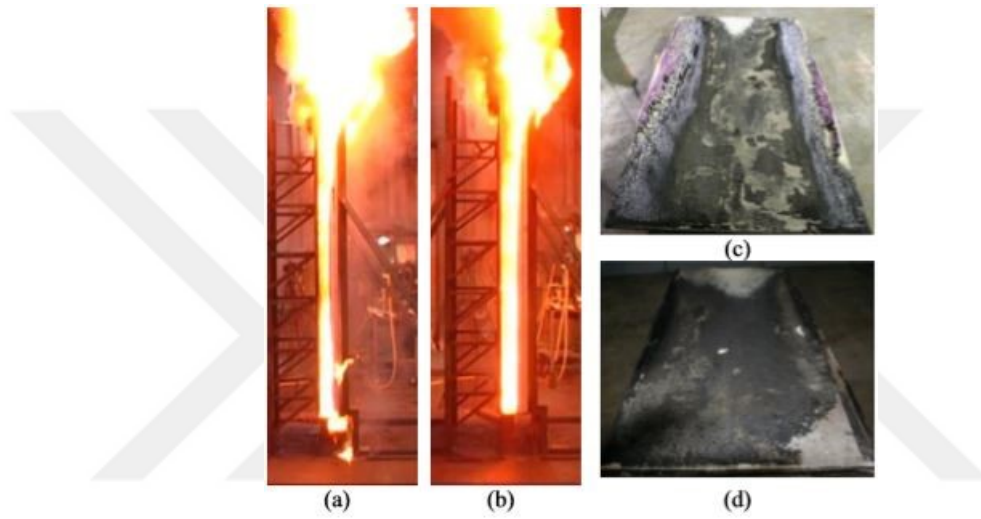
Yağmur Perdelemeli Cephe Sistemleri: Temelde boşluklu duvar sistemleri ile aynı mekanizma ile çalışmaktadır. En dışta bulunan yük taşımayan duvar opak bir yüzeye sahip olmakta ve yapıya estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Dış duvar üzerinde yağmur suyunu içeri ileterek, hava boşluğu yoluyla sistemden tahliye etmek amacıyla damlama delikleri bulunmaktadır. İki duvar arasında bulunan hava boşluğu katmanlar arasında basınç dengesi sağlama, drenaj ve havalandırma amaçlarıyla kullanılmaktadır (Şekil 2.8), [55].



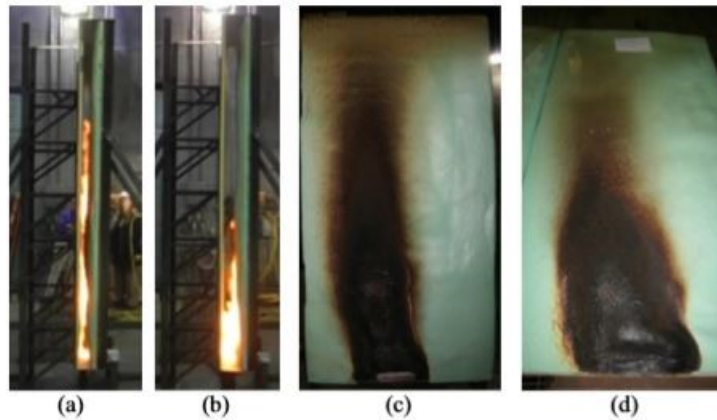
Şekil 2.8 Yağmur perdelemeli cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

Öte yandan, dış duvar kaplamada ve hava boşluğunda yalıtım için yanıcı özellikteki malzemelerin kullanılması durumunda yangın riski artmaktadır. Olası bir yangın sırasında, cephenin tutuşmasıyla birlikte, yangın dışarıdan ve içeriden

kapatılarak gizlenen hava boşluğunda ilerleyerek alevlere müdahale edilmesini zorlaştırabilmekte ve bu durum tehlikelere neden olabilmektedir. Jamison ve Boardman, güncel yönetmeliklerde ve standartlarda cephe bileşenlerinin dışarıdan bir tutuşma kaynağının etkisi altındaki performansının incelendiğini belirtmektedir. Fakat, incelenen kaynaklarda test yöntemlerinin duvar boşluğu içerisindeki yanıcı özellikteki yalıtım malzemelerinin neden olabileceği tehlikelerin ele alınmadığı görülmektedir. Bu nedenle, boşluklu duvar sistemleri ve sistemde kullanılan yalıtım malzemelerinin yangın sırasındaki performanslarını incelemek amacıyla ASTM E84 test metodu kapsamında yapılan yanma testi sırasındaki davranışlar Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da ele alınmaktadır [55].



Şekil 2.9 Yalıtım malzemesi olarak XPS köpük kullanılan ve 102 mm genişliğinde boşluğa sahip olan bir duvar sisteminin ASTM E84 test metodu kapsamında yapılan yanma testi sırasındaki performansı ve test sonundaki görüntüsü [55]

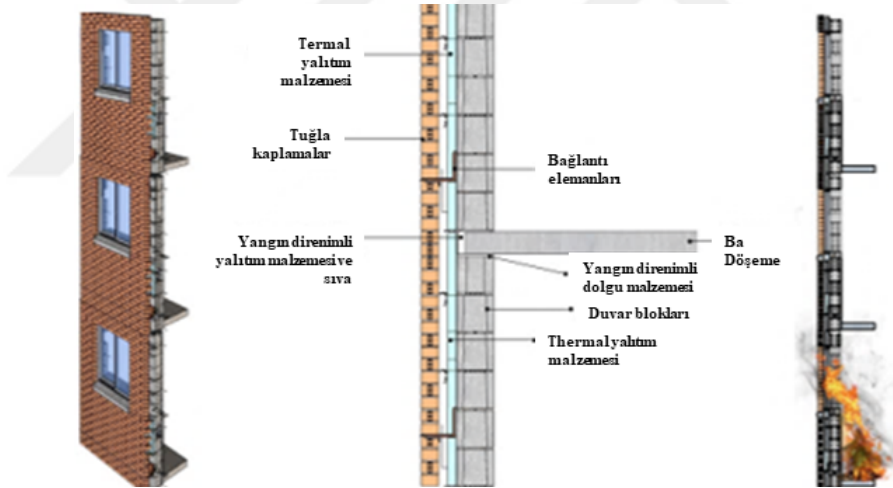


Şekil 2.10 Yalıtım malzemesi olarak spreysel PUR köpük kullanılan 102 mm genişliğinde boşluğa sahip olan bir duvar sisteminin ASTM E84 test metodu kapsamında yapılan yanma testi sırasındaki performansı ve test sonundaki görüntüsü [55]

Jamison ve Boardman tarafından geliştirilen ve uygulanan boşluklu duvar sistemleri için bir performans testi incelendiğinde, sistemde kullanılan yalıtım malzemeleri değiştiğinde yangının katmanlar arasındaki boşluktan yayılma hızının ve büyüklüğünün değiştiği görülmektedir. Sprey şeklinde uygulanan PUR yalıtım malzemesi, XPS köpüğe göre yangın sırasında daha iyi bir performans göstermiştir.

Öte yandan, dış kaplamada kullanılan kaplama malzemesi de alevlerin dışarı yayılmasında etkili olmaktadır. Dış kaplama malzemesi değiştiğinde yangının iç katmanlardan, dışarı yayılma oranı ve hızı da değişmektedir [55].

Kâgir Duvarlar: Yük taşıyıcı bir duvar üzerine tuğla veya taştan örülmüş tek katmanlı bir duvardan oluşmaktadır. Tuğla veya taş malzemeler bir, iki veya üç kat üzerine istiflenmekte ve ölü yükler kat seviyesindeki yapısal döşeme tarafından desteklenmektedir. Kâgir duvarın arkasında yer alan duvar katmanında enerji korunumu sağlamak amacıyla yalıtım malzemesi kullanılabilir ancak malzemenin yanıcılık özelliği yangın güvenliği açısından risk oluşturabilmektedir (Şekil 2.11), [55].



Şekil 2.11 Kâgir duvar sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

Deney düzeneği olarak iki katlı bir kâgir duvar hazırlanmış ve sistemde köpük yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Alt katta iç odada başlatılan yangın sonucunda alevler pencerenin üst başlığını sararak duvarın dışını sarmış ve üst kata doğru ilerlemiştir. Alevlerin duvar yüzeyinde dikey ve yatay yönde sınırlı bir ilerleme gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.12), [57, 58].



Şekil 2.12 NFPA 285 test metodu kapsamında yanıcı malzeme içerikli taşıyıcı olmayan dış duvarlarda yangının gelişimi ve numunenin test sonrasındaki durumu [57, 58]

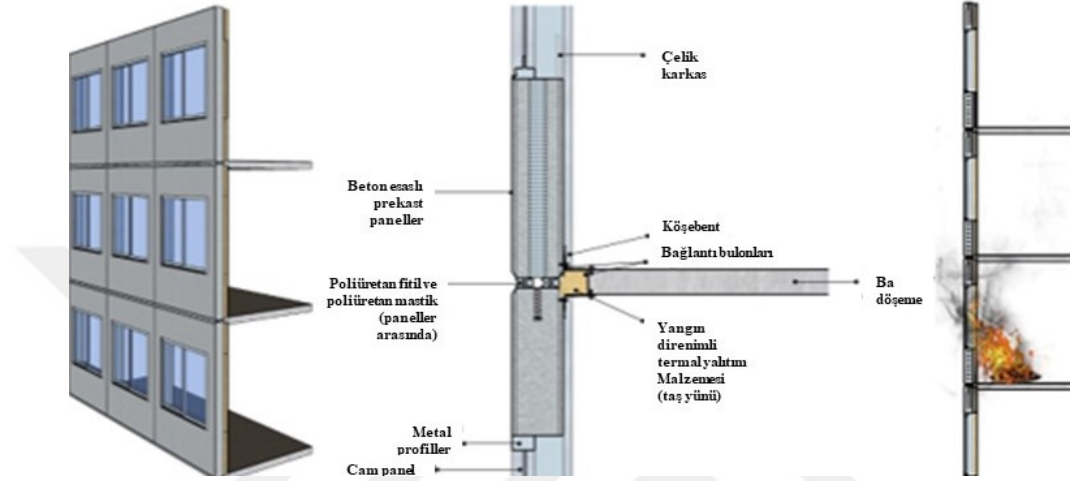
2.2.2 Boşluksuz Yerleşik Cephe Sistemleri

Kompozit cephe malzemelerinden oluşan cephe sistemlerinde, malzemeler arasında hava boşluğu bulundurulmadan doğrudan birbirinin veya yapı elemanlarının üzerine uygulanarak oluşturulmaktadır. Beton esaslı prekast panel kaplamalı cepheler, yalıtımlı metal sandviç panel kaplamalı cepheler ve yalıtımlı kompozit cepheler bu grup içerisinde sınıflandırılmaktadır. Cephede kullanılan malzeme grupları arasında hava boşluğunun bulunup bulunmaması yangının ilermesine etki eden önemli faktörlerden birisini oluşturmaktadır.

Beton Esaslı Prekast Panel Kaplamalı Cepheler: Cephelerde kullanılan beton esaslı prekast paneller, yük taşıma özelliklerine göre ağır veya hafif beton prekast cephe panelleri olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Ağır prekast betonarme panellerin kullanıldığı cephelerde, yük taşıma özelliğine sahip paneller donatılı betondan üretilmeleri nedeniyle yapıya ilave yük getirmektedir. Buna ek olarak, paneller betonarme katman dışında yalıtım sağlama ve yoğunlaşmayı önlemek amacıyla birkaç katmandan oluşabilmektedir. Ancak, yük taşımayan prekast betonarme cephe kaplamanın, kolay uygulanabilir olması, taşıma ve depolamaya daha elverişli olması nedeniyle, prekast betonun mimaride en çok tercih edilen uygulama olduğu görülmektedir [59].

Cephelerde kullanılan beton esaslı prekast kaplama panelleri ve elemanları genellikle, panellerin ağırlıklarını yapının taşıyıcı sistemine iletecek, rüzgâr yüklerine ve sistemin kendi ağırlığından kaynaklanan sismik kuvvetlere karşı koyacak şekilde tasarlanmaktadır. Genellikle, 150 mm veya daha kalın olarak üretilen paneller, şantiyede uygulamaya hazır olarak fabrikalarda üretilip, doğrudan yapıya monte edilmektedir. Prekast beton kaplama ünitelerini oluşturan elemanlar; duvar

panelleri, cam duvar üniteleri ve spandreller olarak sıralanmaktadır. Dış yüzey tamamen kaplamasız olarak kullanılabileceği gibi taş veya tuğla kaplamalar da kullanılabilmektedir. Yalıtım amacıyla prekast paneller arasına veya iç duvar bitirmelerine yalıtım malzemeleri uygulanabilmektedir. Ancak, doğrudan prekast panelin arkasına veya iki yüzey arasındaki boşluğa sabitlenmiş yalıtım malzemeleri, yangınlık özellikleri doğrultusunda yangın riskine neden olabilmektedir (Şekil 2.13), [54].



Şekil 2.13 Beton esaslı prekast panel kaplamalı cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

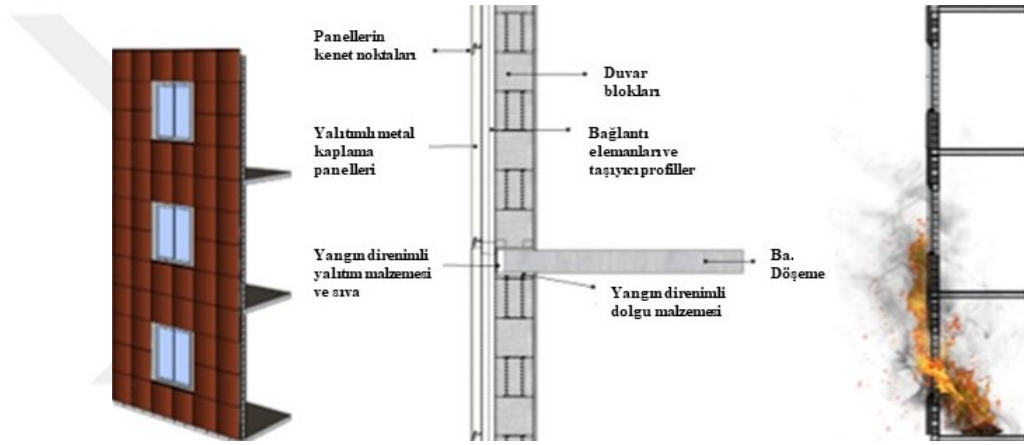
NFPA 285 yangın testinde iki katlı duvar kesiti kullanılmış ve kaplama panelinin alevlerin dikey yönde ilerlemesine katkıda bulunmadığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, kaplama malzemelerinin, E119 / UL263 yangın direnimi test metodları kapsamında 2 saat yangın direnimine sahip olması koşulunu sağladığı belirtilmiştir (Şekil 2.14), [60].



Şekil 2.14 NFPA 285 ve E119 / UL263 test metodları kapsamında beton esaslı prekast panellerde yangın testi [60]

Yalıtımlı Metal Sandviç Panel Kaplamalı Cepheler: Kalınlığı 0.4 mm ile 0.6 mm arasında değişen iki adet metal levha arasına 50 mm ile 200 mm arasında kalınlığa

sahip (genleştirilmiş polistren (EPS), poliizosiyanürat (PIR), polietilen (EP), fenolik köpük veya mineral yün) yalıtım malzemesinin dolgu olarak kullanıldığı yalıtımlı panellerdir. Dış duvarda taşıyıcı özelliğe sahip olan sandviç paneller, çoğunlukla kolay temizlenebilmeleri, etkin ısı yalıtımı ve enerji korunumu sağlamaları ve sürdürülebilir olmaları nedeniyle çoğunlukla depolama ve yiyecek üretimi yapılan yapılarda tercih edilmektedir. Öte yandan, sandviç panellerin içinde dolgu olarak kullanılan yalıtım malzemeleri yapıya uygulanırken delme veya sabitleme sırasında zarar görebilmektedir. Bu durum ise, malzemenin kullanım ömrünün ve performansının azalmasına yol açabilmektedir. Ayrıca, dolgu malzemesi olarak kullanılan köpük malzemeler yanıcı özellikte olduklarından dolayı, bir yangın sırasında erime veya yumuşama eğilimi göstererek taşıyıcı özelliği bulunan panellerin çökmesine neden olabilmektedir (Şekil 2.15), [20].



Şekil 2.15 Yalıtımlı metal sandviç panel kaplamalı cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

2012 yılında İstanbul’da bulunan Polat Tower yapısının havalandırma ünitesinden kaynaklanan yangın, doğu cephesinin kuzey köşesindeki alüminyum dış cephe kaplamalarını ve metal kaplamalar arasında bulunan polistren dolguyu da tutuşturarak cephe boyunca yayılmıştır. Yangın sırasında cephe kaplamalarından kopan parçaların çevredeki yapılara da zarar verdiği belirtilmiştir. Cephenin yanan yüzeyinin gerisinde perde beton olup, pencere açıklığının bulunmaması alev ve dumanların iç mekanlara yayılmasını engellemiştir (Şekil 2.16), [16].



Şekil 2.16 Polat Tower yangını [61, 62]

Isı Yalıtımlı Kompozit Cepheler (EIFS/ETICS): Fabrika ortamında üretilen cephe malzemelerinin uygulanacakları dış cephe yüzeyine, sistemine, sistem bileşenlerine ve saha koşullarına uygun olarak seçilerek, sistem bileşenlerinin yerinde uygulanmasıyla oluşturulan cephelerdir. Yalıtımlı kompozit cephe sistemleri temel olarak, taşıyıcı özellikte olma durumlarına göre iki farklı prensip doğrultusunda çalışmaktadır. Birincisi yük taşıyıcı bir duvar ve duvar üzerinde iç mekân ile dış mekân arasında ısı, hava geçişini sağlamak amacıyla konumlandırılmış açıklıklardan meydana gelen taşıyıcı özellikteki kompozit cephelerdir. Bu cephe tipleri; yangın güvenliği konusunda ek önlemler gerektirmektedir. Taşıyıcılık özelliği bulunmayan tek katmanlı cephelerde ise, birkaç malzeme grubu ve bileşen bir araya gelmektedir. Yalıtımlı kompozit cephelerde kullanılacak olan bileşenler, yapının kullanım amacı doğrultusunda;

- yapı kabuğunu dış etkilerden (yangın, UV, mekanik darbeler, zararlı mikroorganizmalar, kir, toz, vb.) koruma,
- kullanıcı konfor koşullarını (akustik, termal konfor, vb.) sağlamak amacıyla, iç mekanın dış ortamdaki değişimlerden etkilenmesini önleme,
- estetik bir görünüm yaratma ve
- enerji korunumu, sürdürülebilirlik gibi tasarım ölçütleri temel alınarak belirlenmektedir [63].

Dış ve iç ortam koşullarından doğrudan etkilenen bileşenlerin değişen fiziksel çevre koşulları sırasında gösterdiği performans ve çalışma mekanizmalarının birbirleriyle olan uyumu özellikle yangın güvenliği açısından önem taşımaktadır. Cephelerde belirtilen performans özellikleri ve tasarım kriterlerinin karşılanması amacıyla, yalıtımlı kompozit cephelerde kullanılan temel bileşenler içten dışa doğru;

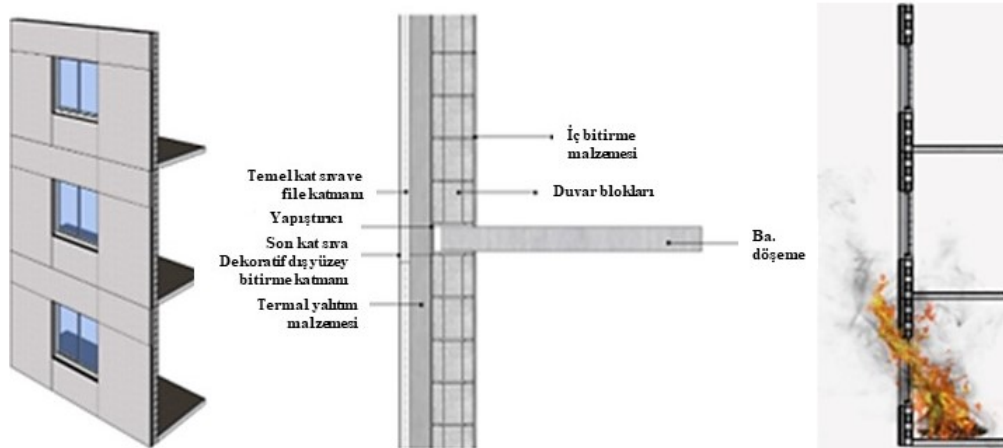
- ısı yalıtım malzemesinin sabitleneceği mekanik elemanlar ve sistem yapıştırıcısı,

- ısı yalıtım malzemesi,
- bir ya da birkaç katmandan oluşan ısı yalıtım sistemi sıvası,
- ısı yalıtımı donatı filesi,
- en dış katmana uygulanan ve tercihen dekoratif özellikli son kat kaplama malzemesi olarak sıralanmaktadır.

Isı yalıtım levhaları dış duvara sistem yapıştırıcısı ve sisteme uygun mekanik elemanlar ile sabitlenmektedir [64].

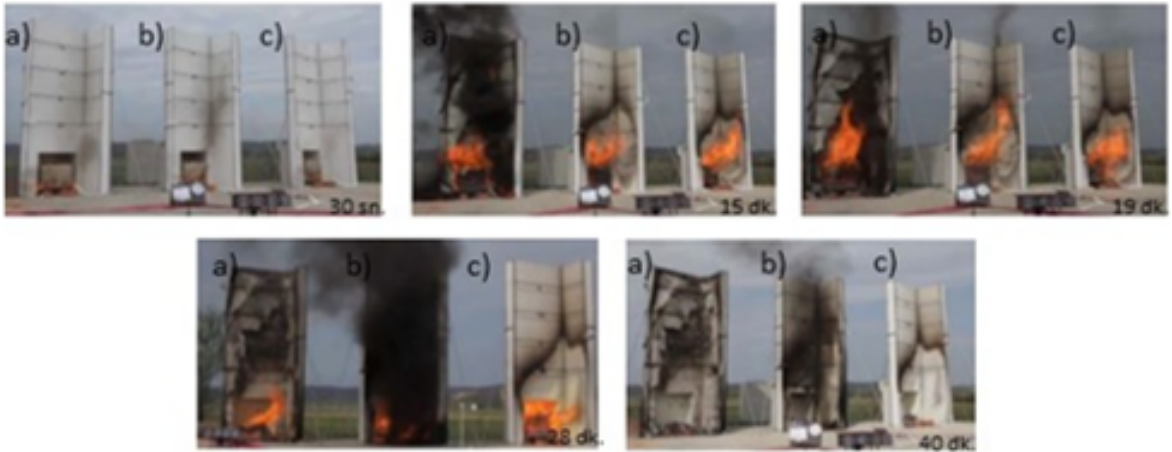
Son aşamanın ardından, yalıtım malzemesi üzerine bir tanesi donatı filesi içeren, bir veya birkaç katmandan oluşan sıva uygulanmaktadır. Sistemin son katına ise, tasarım doğrultusunda, cephede estetik görünüm sağlayacak bir son kat katmanı içeren kaplama malzemesi uygulanarak sistem tamamlanmaktadır. Sistemi oluşturan bileşenlerin, diğer dış cephe elemanlarıyla bağlantısının sağlanması amacıyla bağlantı elemanları olarak su basman ve köşe profili kullanılmaktadır [64].

Kompozit cephelerde kullanılan katman sayısı arttıkça, kullanılan malzemelerin yangın sırasındaki performansına bağlı olarak neden olabileceği riskler de artabilmektedir. Günümüzde yapı cephelerinde meydana gelen yangınların büyük çoğunluğu kaplama ve yalıtım malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Cephe, meydana gelen bir yangının yüzeyden ilerleyerek üst katlara ulaşması ve çevre yapıların cephesine sıçraması önlenecek şekilde tasarlanmalı ve malzemeler de bu doğrultuda seçilmelidir. Bu nedenle, cephelerdeki kaplama ve yalıtım elemanlarının yangın sırasındaki performans özelliklerinin bilinmesi ve yanıcılık özelliklerinin sınırlandırılması gerekmektedir (Şekil 2.17), [46, 63].



Şekil 2.17 Isı yalıtımlı kompozit cepheler ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

Zagreb Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, HUZOP (Fire Safe Europe and the Croatian Association for Fire Protection) tarafından yürütülen bir çalışmada cephelerde kullanılan malzemelerin yangının yayılmasına olan etkisi incelenmiştir. BS 8414 test metodu kapsamında yapılan çalışmada, duvarlarda dış bitirme malzemesi olarak dekoratif sıva uygulanmış ve yalıtım malzemesi olarak sırasıyla EPS, EPS ve taşıyünü içeren yangın bariyeri ve taşıyünü kullanılmıştır. Deney sırasında, 15. 19. 28. ve 40. dakikalarda yapılan gözlemler sonucunda A ve B örneklerinde hasarlar olduğu ve toksik gazların açığa çıktığı görülürken C örneğinde yapısal bir hasar görülmediği belirtilmiştir (Şekil 2.18), [65].



Şekil 2.18 Yalıtımlı kompozit cephe sistemlerinin kullanılan ısı yalıtım malzemeleri doğrultusunda yangın performanslarının BS 8414 test metodu kapsamında değerlendirilmesi a) EPS b) EPS ve 20 cm taşıyünü yangın bariyeri c) Taşıyünü [65]

2.2.3 Çift Katmanlı Cepheler

Çeşitli kaynaklarda aktif cepheler olarak da tanımlanabilen çift katmanlı cepheler (Ç.K.C.), bir veya birden fazla katı kapsayan ve aralarında boşluk bulunan, iki adet cam kaplamalı katmandan oluşan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Sistemin çalışma mekanizması temelde, iki şeffaf yüzey ve bu yüzeyleri birbirinden ayıran koridorların aktif veya pasif sistemler kullanılarak havalandırma kanalı olarak görev yapmasına dayanmaktadır. Cam kaplamalar arasına 20 cm veya birkaç metre aralıklarla yerleştirilebilen havalandırma koridorları aynı zamanda; rüzgâr, ses ve aşırı ısıya karşı izolasyon elemanı olarak da görev yapmaktadır [66–72].

Çift katmanlı cephe sistemleri;

- Dış cephenin tamamen şeffaf ve estetik bir görünüme sahip olmasını sağlamak,
- Ofis gibi gelişmiş ortam gereken iç mekanlarda kullanım kolaylığı sunmak,

- Dış mekân ve iç mekan arasındaki ses ve gürültü denetimini kolaylaştırmak ve
- Yapının kullanımı sürecinde harcanan enerji miktarını düşürmek amacıyla özellikle ofis yapılarında tercih edilmektedir [71, 72].

Çift katmanlı cephe sistemini oluşturan katmanlar:

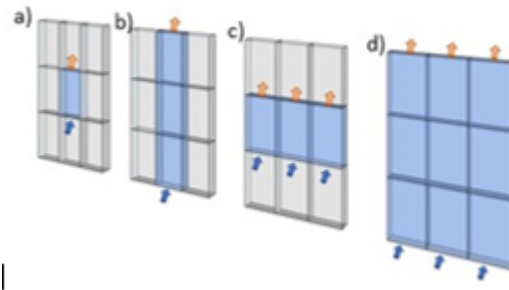
Dış Cam Kaplama: Cephenin en dışında bulunan ve estetik bir görünüm sağlayan cam kaplama katmanı olarak kullanılmaktadır [66, 69, 71, 73].

İç Cam Kaplama: Güneş denetimini sağlamak amacıyla kullanılan izolasyonlu çift cam kaplama katmanı olup, Low-e veya güneş denetimi özelliğine sahip camlar kullanılabilmektedir. Ayrıca iç camlar, iç mekanın doğal olarak havalandırılabilmesi için kullanıcılar tarafından açılabilir [66, 69, 71, 73].

Havalandırma Koridorları: Cam katmanlar arasında 20 cm ile 2 m arasında yerleştirilebilmekte ve havalandırma amacıyla kullanılmaktadır. Koridorlarda havalandırma amacıyla mekanik, doğal veya fan destekli havalandırma sistemleri kullanılabilmektedir. Buna ek olarak, bu bölüme güneş denetiminin sağlanması açısından otomatik güneş kırıcılar da tasarlanabilmektedir. [66, 69, 71, 73].

Çift katmanlı cephe sistemleri havalandırma sistemlerine göre;

- Bina yüksekliğinde,
- Kat yüksekliğinde koridor tipi,
- Şaft tipi ve
- Kutu tipi olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.19), [73].



Şekil 2.19 Çift katmanlı cephe tipleri a) kutu tipi, b) şaft tipi, c) kat yüksekliğinde koridor tipi, d) tüm bina yüksekliğinde [73]

Bina yüksekliğinde Ç.K.C: Yapı içi havalandırma, dikey düzleme yerleştirilmiş, birbirine paralel cam kaplı yüzeylerin arasında bulunan ve tüm katlar boyunca

kesintiye uğramadan devam eden havalandırma koridorunun en alt ve en üst kotunda bulunan menfezler yardımıyla sağlanmaktadır. Katlar arasında sistemin; temizlik, bakım ve onarımını sağlamak amacıyla kedi yolları tasarlanabilmektedir [68–71].

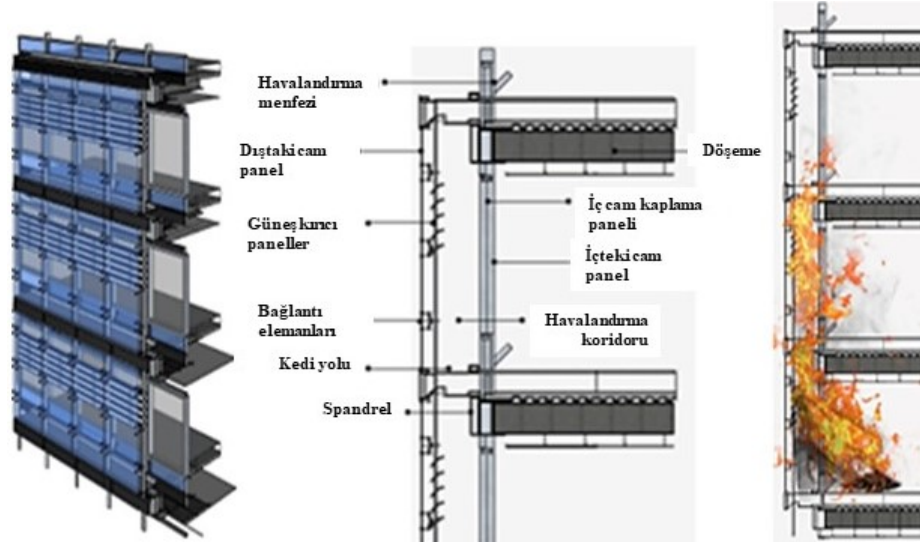
Kat yüksekliğinde Ç.K.C: Cephe sistemi, yatayda kat bazında bölünerek her katta ayrı olarak çalışmaktadır. Katların alt kotunda bulunan menfezlerden içeri temiz hava alımı sağlanırken, üst kotta bulunan menfezlerden ise kirli hava dışarı salınmaktadır [68, 70, 71, 73].

Şaft-kutu tipi pencere Ç.K.C: Sistem, cephenin düşey düzlemde belirli aralıklarla bir şaft şeklinde bölünmesinden oluşmaktadır. Şaftın en alt kotunda bulunan menfezden alınan temiz hava, en üst kotta bulunan menfezden dışarı salınmaktadır [68, 70, 71, 73].

Kutu tipi pencere Ç.K.C: Yatay ve düşey düzlemde bölünen sistemde, her bir modül kendi içerisinde çalışmaktadır. Bu yönüyle, kullanıcılara kullanım kolaylığı sağlamaktadır [68, 70, 71, 73].

Çift katmanlı cepheler sahip oldukları avantajların yanı sıra, başta yangın güvenliği olmak üzere; uygulama maliyeti, aşırı ısınma, bakım ve onarım konularında dezavantaja sahip olmaktadır. Katmanlar arasındaki havalandırma kanalı yangın sırasında şaft görevi görerek, yangın sırasında açığa çıkan duman ve gazlar yükselerek doğrudan üst katlara ulaşabilmektedir [80]. Bu nedenle, çift katmanlı cephelerde yangının üst katlara hızla yayılma riski bulunmaktadır. Ancak, kutu tipi cephe sistemi sadece bağlı bulunduğu modül içerisinde çalıştığından yangın güvenliği açısından, diğer çift katmanlı cephe tiplerine göre daha fazla korunuma sahiptir [71].

Tasarım özelliklerinin yanı sıra, dış ortamla temas eden katmanın tamamının cam olması nedeniyle de çift katmanlı cephe sistemleri yangın güvenliği açısından risk taşımaktadır. Camın yanıcılık özelliği bulunmamasına karşın, ısı karşısında malzemenin yapısında değişimler gözlemlenebilmekte ve sıcaklığın 295 °C' ye ulaşmasıyla çatlamlar meydana gelebilmektedir. Düşeyde cam kaplamanın kullanıldığı sistemde, yatayda sistemin taşıyıcısı olarak alüminyum ve çelik malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler yangın sırasında açığa çıkan yüksek ısı nedeniyle genleşmektedir. Özellikle, alüminyum yüksek sıcaklığa maruz kaldığında yapısında meydana gelen ısıl gerilmelere dayanıklı bir malzeme değildir. (Şekil 2.20), [72, 74–77].



Şekil 2.20 Çift katmanlı cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

Çift katmanlı cephelerin yangın performanslarını incelemek için yapılan bir çalışmada, deney düzenekleri çift tabakalı cam panellerle oluşturulmuş ve ilk aşamada 6 mm kalınlığında cam katmanlar kullanılarak sistemin yangın direnimi test edilmiştir. Cam panel kırıldığında panelin ilk katmanının üst yüzey sıcaklığının 600-800 °C olduğu ölçülmüştür. Deney düzeneği iç kısımda 6 mm ve dış kısımda 12 mm kalınlıklarındaki camlardan üretilen çift tabakalı cam paneller ve bu paneller arasında kalan 860 mm derinliğindeki havalandırma kanalından oluşturulmuştur. Deney sonucunda, iç kısımdaki cam panelin kırılma sıcaklığının 300-350 °C olduğu ölçülmüş ve ilk deneyde ölçülen değerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma, yan panellerin yangından uzak olması ve yan panellerin merkezinde ölçülen sıcaklık değerlerinin panellerin en yüksek sıcaklık değerini yansıtmamasının neden olduğu belirtilmiştir. Alevlerin cam panel çerçevelerin içinden geçerek havalandırma boşluğuna ulaşmasıyla birlikte iç cam paneller kırılmış ve bunun sonucunda duman ve alevler havalandırma boşluğunda yayılmıştır. Alevler dış cam katmana ulaştıktan sonra dışta bulunan çift katmanlı cam panel de kırılmış ve alevler dış cepheye ulaşmıştır (Şekil 2.21), [78].



Şekil 2.21 Çift katmanlı cephe sistemi yangın testi a) yangının başladığı odadan itibaren iç yüzeyden geçmesi b) kırılan iç cam paneli c) duman ve gazların hava boşluğunda yayılması, d) dıştaki çift katlı cam panelin arasında bulunan jel yüzeyin yanması, e) dış katmandaki camın kırılması [71]

2.2.4 Giydirme Cepheler

Kendi ağırlığı ve rüzgar yükü dışında yük taşımayan, yapının sahip olduğu strüktür elemanlarına (çelik veya betonarme) cephe kaplama panellerinin ankrajlar ile tespit edilerek oluşturulduğu dış duvar sistemi olarak tanımlanmaktadır. Panellerin dış yüzeyinde; cam, ahşap, taş, kompozit, seramik veya metal gibi malzemelerin kullanıldığı cepheler, hafif giydirme cepheler olarak sınıflandırılırken, prekast beton panellerin kullanıldığı cepheler ise ağır giydirme cepheler olarak sınıflandırılmaktadır [79, 80].

Giydirme cephe sistemleri temelde, cam gibi saydam veya yarı saydam özellikteki kaplama elemanlarının metal çerçevelerden oluşturulmuş konstrüksiyon üzerine tespit edildiği çubuk panel sistemi veya beton, taş, seramik, kompozit, metal gibi kaplama elemanlarının kullanıldığı panel sisteminden meydana gelmektedir. Estetik görünüm, fabrikada montaja hazır halde üretilmesi ve hızlı montaj özellikleri nedeniyle özellikle yüksek yapılarda sıklıkla tercih edilen bir sistemdir [79]

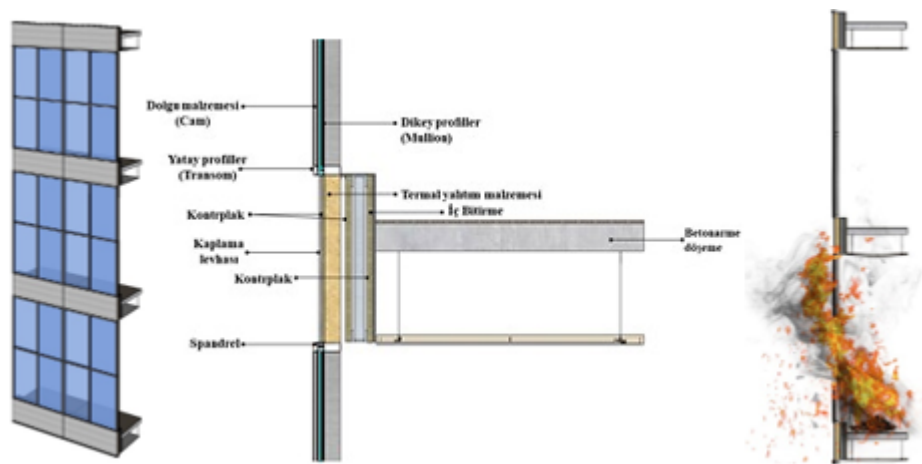
Giydirme cephelerde dikkat edilmesi gereken unsurlar;

- Sistemin kendi ağırlığı ve depremin yarattığı yüklerin dengeli bir şekilde

taşınması,

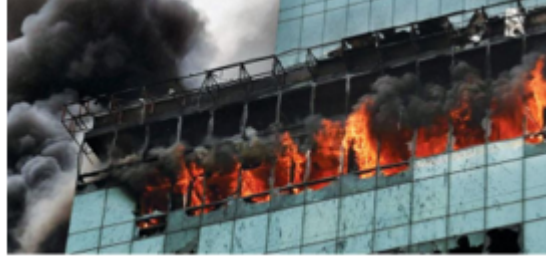
- Rüzgâr yükleri,
- Yangın,
- Güneş ışınlarından (UV) kaynaklanan parlaklık ve kamaşma nedeniyle iç mekân konforunun olumsuz etkilenmesi ve malzemelerde meydana gelen deformasyonlar,
- Sıcaklık değişimleri nedeniyle oluşan genleşme ve büzüşme kaynaklı malzeme deformasyonları ve iç mekândaki ısıl konforun sağlanması olarak sıralanabilmektedir [79, 81].

Giydirme cephelerde yangın, iç mekânda meydana gelen bir yangından açığa çıkan sıcak gazların ortamda birikerek basınç yaratması ve alevlerin; duvar, döşeme ve tefrişler üzerinden ilerleyerek cephe yüzeyine ulaşması sonucunda yüzeyde oluşan gerilmelerin cam kaplama elemanlarının patlaması yayılmaktadır. 1960 yılında yapılan bir yangın testinde, test odasının duvarlarında kontrplak kullanılmış ve yangın sırasında pencere yüzeyinin sıcaklığının 400-500 °C arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu değer aralığının ölçümünden sonra ise, cam malzeme patlamıştır. Patlama sonrasında alevler ve gazlar, cephe yüzeylerinde bulunan diğer boşluklardan da dış ortama ulaşmaktadır. Cepheye ulaşan gazlar, duman ve parçacıklardan oluşan sıcak hava bulutu, radyasyon yoluyla taşınan ısı ve alevler cephe yüzeyi üzerinden ilerleyerek üst katlara taşınmakta ve yangın böylelikle gelişimine devam etmektedir (Şekil 2.22), [82].



Şekil 2.22 Giydirme cephe sistemi ve sistem kesitinde yangının ilerleyişi

2014 yılında, Mumbai’de 22 katlı Lotus Business Tower’ ın 22. katında meydana gelen yangın, giydirme cephe üzerinden yayılarak çatıya ulaşmış ve bir itfaiye personelinin ölümüne yol açmıştır (Şekil 2.23), [82].



Şekil 2.23 Lotus Business Tower yangını, Mumbai/ Hindistan [83]

Yangın güvenli cephe tasarımı kapsamında giydirme cephe sisteminin uygulandığı her kattaki cephede yer alan;

- Kolon iç yüzeylerinin,
- Dış veya iç mekan bölücü duvarların,
- Dış yağmur perdelerinin,
- Döşemelerin ve
- Kirişlerin giydirme cephelerle olan birleşim yüzeylerine yangın durdurucu elemanların yerleştirilmesi gerekli olmaktadır (Şekil 2.24) [79, 81].



Şekil 2.24 Giydirme cephelerde yangın durdurucu uygulaması örneği [84]

2.3 Konvansiyonel Cephe Kaplama Malzemeleri

Cephe kaplamaları, yapı kabuğunun en dış yüzeyini oluşturdıklarından dış etkenlerden doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle, koruma görevi gören dış kaplamalarda kullanılan malzemelerden; atmosfer koşullarının kimyasal etkilerinden etkilenmeme, donma-çözünme, genleşme-büzülme, UV ışınları, ve yağış suları karşısında yapısında bozulmalar yaşanmadan performans özelliklerini devam ettirmesi beklenmektedir. Ayrıca, iç mekanda konfor ve güvenliği sağlama konusunda da cephe kaplama malzemelerinin seçimi önem kazanmaktadır [85]. Öte yandan, cephe kaplama malzemelerinin seçiminde; estetik görünüm, enerji

korunumu, düşük maliyet, kolay uygulanabilirlik gibi ölçütlerin, daha önce bahsedilen ölçütlerden daha etkili olmaya başladığı ve güvenlik riskinin göz ardı edildiği görülmektedir. Bu nedenle, yangın cephedeki önemli güvenlik risklerinden birini oluşturmaktadır [86]. Cephelerdeki ürün ve bileşenlerin oluşturduğu katmanlaşma ve bu katmanlaşma içerisinde yer alan yanıcı özellikteki malzemeler (yalıtım malzemeleri, vb.), yangının ilerlemesi için fazladan yüzey oluşturmaktadır. Bu da, yangının yayılmasına ve büyümesine neden olabilmektedir [3]. Alevler, cephede malzeme yüzeyi üzerinden alev dili yoluyla ısı iletimi sağlayarak, yukarı yönde çok hızlı bir şekilde ilerleyebildiğinden, yangın sırasında cephe kaplama malzemelerinin yangın direnirlik özellikleri hayati önem oluşturmaktadır [49]. Özellikle son yıllarda, üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda artan malzeme çeşitliliğine bağlı olarak, binalarda cephe kaynaklı yangın sayılarında artış gözlemlenmektedir. Cephelerde yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde, malzeme seçimi pasif yangın güvenlik önlemleri altında ele alınmakta ve tasarım sırasında malzemelerin;

- Yangın yükü,
- Tutuşma kolaylığı,
- Yangının yayılma hızı,
- Duman ve zehirli gazların oluşumu
- Mekanik zarara karşı hassaslık ve
- Yangına direnirlik gibi özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir [87].

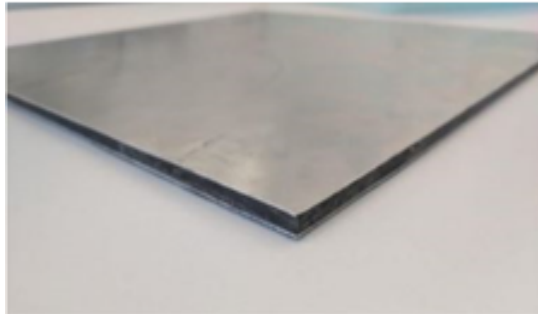
Çalışmada bina cephelerinin kaplamalarında kullanılan katmanlar; kaplama ve yalıtım malzemeleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Kaplama malzemeleri kullanılan malzeme gruplarına göre;

- Metal esaslı kaplamalar,
- Ahşap esaslı kaplamalar,
- Cam kaplamalar,
- Taş esaslı kaplamalar,
- Seramik esaslı kaplamalar,

- Çimento esaslı kaplamalar,
- Plastik esaslı kaplamalar olarak incelenmiş ve malzemelerin yangın sırasında neden olabileceği riskler geçmişte yaşanan, cephe kaynaklı örnek yangın olaylarıyla birlikte ele alınmıştır.

2.3.1 Metal Esaslı Kaplamalar

Endüstriyel üretim sürecinde; döküm, presleme, çekilme ve dövülme gibi çeşitli yöntemlerle işlenebilen metallerin, cephelerde kaplama malzemesi olarak kullanılan türleri; çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, titanyum, çinko, kalay ve kurşun olarak sıralanmaktadır [88, 89]. Tek parça levha, kompozit levha ve sandviç panel olarak uygulanabilen metal esaslı cephe kaplamaları malzemenin yapısı gereği yangın sırasında akma, damlama veya kopma göstererek yangın riski yaratmaktadır [90]. Yangın sırasında alüminyum su ile söndürülmeye çalışıldığında, oldukça yanıcı ve patlayıcı özellikte olan hidrojen gazı açığa çıkarmakta ve bu durum patlamalara yol açabilmektedir [38]. Ergime noktası 660 °C ve tutuşma noktası 760 °C olan alüminyum, yangın sırasında cepheden alev yağmuru şeklinde damlayabilmektedir. Özellikle, düşük yoğunluklu polietilen dolgulu (çekirdekli) metal kompozit malzemeler, yüksek katlı yapılarda, yanıcılık özelliği en fazla olan cephe kaplama malzemesi olarak görülmekte ve buna rağmen yapıda en yaygın olarak kullanılan türü alüminyum kompozit paneller olmaktadır [91]. Alüminyum kompozit panellerin, 1970' li yıllardan günümüze kadar uygulama kolaylığı, dayanıklılığı, daha az bakım gerektirmesi, bütüncül ve estetik bir görünüme sahip olması gibi olumlu özelliklerinden dolayı cephelerde kullanımı giderek yaygınlaşmıştır [34]. Pre-fabrike olarak üretilen alüminyum kompozit paneller, iki adet alüminyum panel ve arasındaki dolgudan (çekirdek) oluşan, toplam kalınlığı 4-6 mm arasında değişen cephe kaplama malzemeleridir. (Şekil 2.25), [92].



Şekil 2.25 Alüminyum kompozit panel örneği [93]

Alüminyum kompozit panellerin dış yüzeylerinde bulunan alüminyum kaplamalar yangın sırasında, yüksek sıcaklıkta eriyerek, arada bulunan ve yanıcı özellikteki,

polietilen dolgu malzemesinin de tutuşmasına neden olarak özellikle yüksek yapıların cephelerinde yangının geniş bir alana yayılmasına yol açabilmektedir (Şekil 2.26), [93].



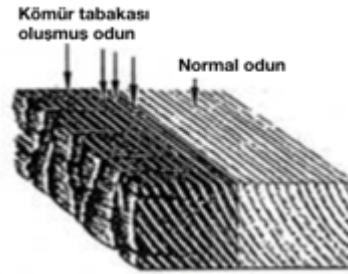
Şekil 2.26 Grenfell Tower yangını sonucu dış cephe kaplamalarının yangın sonrasındaki görünümü [14]

Sandviç paneller ise, kalınlığı yaklaşık olarak 1 mm olan, iki metal levha arasına yalıtım amacıyla poliüretan yerleştirilmiş prefabrike kompozit cephe kaplama sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Dış duvarda taşıyıcı görevi de görebilen sandviç paneller; hızlı uygulama, fazla bakım gerektirmeme ve etkin ısı yalıtımı sağlama gibi olumlu özellikleri nedeniyle yapıda tercih edilmektedir. Genişliği 1.2 m ve uzunluğu 2.5 -13 m olabilen sandviç panellerin kalınlıkları ise 40-230 mm aralığında değişmektedir [94]. Panellerin arasında dolgu malzemesi olarak; polimerik köpük (poliüretan, poliizosiyanürat, fenolik veya polistren), cam yünü veya taş yünü kullanılmaktadır. Termoplastik yalıtım malzemeleri içeren paneller yangın güvenliği açısından, diğer sandviç panellere kıyasla daha fazla risk oluşturmaktadır [87]. Cephelerde meydana gelebilecek olası bir yangın sırasında, kullanıcılar yanan sandviç paneller nedeniyle doğrudan risk altında olsalar da, elde edilen bulgular ilk tutuşmanın panellerde gerçekleşmesi halinde yangının kontrollü ve yavaş bir şekilde gelişeceğini ve panellerin yalnızca gelişmiş yangınlara etki edeceğini göstermektedir [87]. Poliüretan dolgulu alüminyum sandviç paneller Alman DIN 4102 standardı kapsamında B2 yanıcılık sınıfında yer alırken; taşyünü dolgulu galvaniz sandviç paneller ise ISO EN 13162 standardı kapsamında A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme olarak değerlendirilmektedir [93]. Crewe vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sandviç panellerde kullanılan dolgu malzemelerinin (poliizosiyanürat köpük ve taş yünü) yanıcılık özellikleri incelenmiş ve ISO 13784-1 test ölçeği kapsamında, sandviç panellerden oluşturulmuş 4 adet deney odası hazırlanmıştır. Deney sonucunda, poliizosiyanürat (PIR) köpük dolgulu sandviç paneller ile taş yünü dolgulu sandviç paneller arasında yanıcılık özellikleri açısından ciddi farklılıklar gözlemlenmiştir. PIR dolgulu paneller, taş yünü dolgulu panellere göre daha çabuk tutuşmuş ve birkaç dakika içerisinde PIR dolgulu panellerin piroliz ürünleri deney odasının dışına yayılmıştır. Ayrıca, PIR dolgulu sandviç panellerin yanmasıyla yoğun miktarda duman

ve zehirleyici gaz açığa çıkarken, taş yünü dolgulu panellerden az miktarda duman ve gazın açığa çıktığı gözlemlenmiştir [94].

2.3.2 Ahşap Esaslı Kaplamalar

Doğal ve organik bir malzeme olan ahşap; güçlü, dayanıklı, hafif, kolay işlenebilen ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olması nedeniyle yapıda pek çok alanda tercih edilmektedir [79]. Yapı taşıyıcı sisteminden, duvar kaplamalarına, çatıdan, döşemelere kadar yapının tümünde kullanılabilen ahşap; verimlilik, doğal bir malzeme olma, estetik görünüme sahip olma ve kullanıldığı alanlarda sıcak bir görünüm sağlama gibi avantajları da beraberinde getirmektedir [79, 95]. Yangın, su, nem, canlı organizmalar (mantar, bakteri, böcek vd.), UV ışınları ve mekanik etmenler ahşaba zarar verebilmektedir. Yanıcı bir malzeme olması nedeniyle, yangın ahşap malzeme için bir tehlike olarak görülmektedir ancak, yanan kısımda oluşan karbon tabakası (kömür) ısının iletimini yavaşlattığından, malzemenin iç kısımlarına doğru yanma hızı azalmaktadır [95]. Ahşabın yanması sırasında gerçekleşen ısı akısı genellikle radyasyona bağlı olmaktadır. Malzemenin iç yapısında ısının kondüksiyon yoluyla iletimine devam etmesi; ahşabın yoğunluğuna, özgül ısıya ve ısıl iletkenliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, kısmen malzemenin yapısında meydana gelen kömürleşmeye, piroliz ısıya ve yapısında bulunan suyun buharlaşma oranına da bağlı olmaktadır [96]. 100 °C' ye kadar olan sıcaklık değerlerinde, malzemenin yapısında bulunan suyun buharlaşması nedeniyle direnci artmakta, ancak bu değerin üzerindeki sıcaklıklarda selüöz yapısında bozunmalar meydana gelmektedir [97]. 175 °C' de malzemenin yapısında bulunan kimyasal bağlar kopmaya başlamakta ve 260-350 °C' de uçucu ve yanabilir özellikteki yanma ürünleri açığa çıkmaktadır. Son olarak, 450 °C' de ise yanma tepkimesi tamamlanarak, malzemedan geriye yalnızca kömür kütlesi kalmaktadır (Şekil. 2.27) [98].

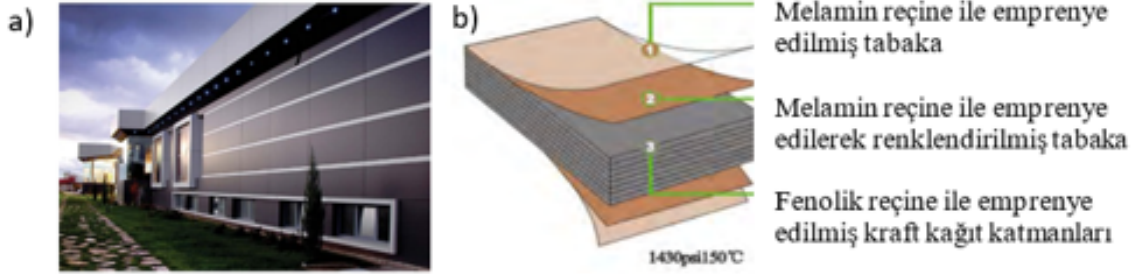


Şekil 2.27 Yanan ahşabın fiziksel yapısında meydana gelen değişimler [99]

Yapıda masif ahşabın yanı sıra, ahşap parçaları ve levhalardan üretilen ahşap ürünleri de kullanılmaktadır. Masif ahşaba göre özellikle nem ve su gibi çevresel koşullardan daha az etkilenmesi, üretimi sırasında ağaç kaynaklarının daha verimli kullanılması ve ekonomik olması yönünden ahşap panel ürünleri günümüzde daha sık tercih

edilmektedir. Ahşap levha ürünleri, kaplama levhaları ve aglomera levhalar olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Kaplamalık levhalar ve kontraplaklar kaplama levhaları arasında yer alırken; talaş levha, yonga levha ve lif levha ise aglomera levhalar arasında yer almaktadır [79, 95]. Levhalar cephelerde ara tutucu malzemeler olarak kullanılmakta ve cephe sisteminin yangın direnimini etkilemektedir. Yapıda kullanılan ahşap panellere amonyum sülfat, amonyum klorid, disiyandiamid, borik asit, boraks ve çeşitli fosfor içerikli (çinko borat) yanma geciktirici bileşikler uygulanmaktadır. Yangın geciktirici özellikteki, boraks, borik asit ve çinko borat uygulamaları karşılaştırıldığında, borik asit katkısı yangın direniminde en iyi performansı göstermektedir. Ancak, bu tür bileşikler panellerin yangın direnimlerinde iyileşme sağlarken, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde olumsuz etki yapmaktadır [99].

Cephelerde ahşabın çeşitli kimyasal tekniklerle işlenmesiyle üretilen kaplama malzemelerine örnek olarak kompakt laminat cephe kaplama panelleri örnek verilmektedir [100]. Kompakt laminat panelleri yapıda genellikle, havalandırmalı cephelerde/yağmur perdelerinde, balkon panellerinde, tercih edilmektedir [20]. Paneller, yüksek basınç ve termoset reçineler ile emprenye edilmiş selüloz elyaf katmanlarının infüzyonu ile üretilmektedir [101]. Homojen, gözeneksiz, kararlı bir yapıda olup kimyasal reaksiyonlara girmemesi nedeniyle, cepheler için son derece uygun bir malzeme olarak görülmektedir [102]. Son derece hafif ve 3-14 mm aralındaki kalınlıklarda üretilmektedir. Paneller, mevcut duvar yüzeyine metal profiller kullanılarak, açık vida, perçin sistemiyle monte edilebilmekte ve kalınlığı fazla olan panellerin monte edilmesinde klipsler panel altına gizlenebilmektedir [20]. Ahşap bir malzeme olması nedeniyle malzeme yapısında 2.5 mm' ye kadar ısısal genleşme görülebilmekte ve uygulama sırasında paneller arasında 5 mm havalandırma boşluğu bırakılmaktadır [102]. Paneller arasındaki havalandırma boşluğu ve malzemenin dış ortam koşullarındaki değişimi iç ortama iletebilmesi nedeniyle, dış kaplamanın arkasına ek bir ısı yalıtımı malzemesi gerektirmektedir [20]. Yangın sırasında, kompakt laminat cephe kaplamaları akma, damlama ve ısı yayma eğilimi göstermemekte, ısı kaynağı cephe yüzeyinden uzaklaştırıldığında yanma olayı sonlanmakta ve B1 veya B2 yangıcılık sınıfında üretilmektedir (Şekil 2.28), [102].



Şekil 2.28 a) Kompakt laminat cephe uygulaması, b) panelleri oluşturan katmanlar [20, 103]

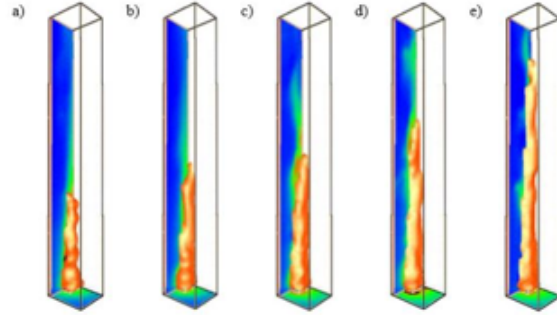
Son yıllarda, endüstriyel ahşap malzemelerin üretimindeki gelişmeler sonucunda, ahşap kaplama ve yapı malzemelerinin yapıda kullanım oranı giderek artmaya ve yüksek katlı ahşap yapı sayısında da artış yaşanmaya başlamıştır [20, 95]. Endüstriyel ahşap ürünlerden biri olan CLT (çapraz lamine ahşap) betonarme döşeme plaklarına benzerliği nedeniyle, yapısal duvarlarda, çatılarda ve döşemelerde kullanılmaktadır [20]. Ahşap tabakaların 90° açıyla çaprazlanarak preslenmesi sonucu üretilen CLT paneller, 3-7 katman aralığında üretilmekte ve toplam kalınlığı 57-400 mm arasında değişmektedir (Şekil 2.29), [20].



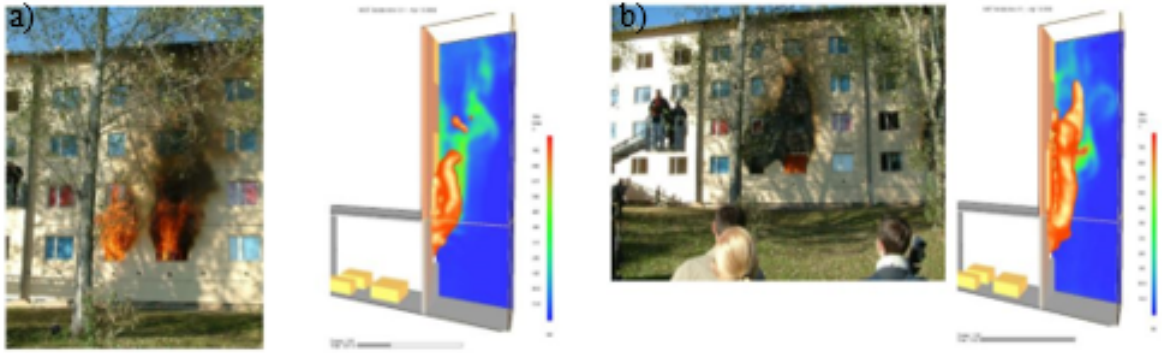
Şekil 2.29 CLT panel ve dış duvarları CLT panellerden oluşturulmuş bir yapı örneği [20]

CLT paneller hava koşullarından etkilenmemesi amacıyla, bir cephe kaplama malzemesiyle kaplanabileceği gibi, uygun koruyucu uygulamalarla dış ortama açık bir şekilde de bırakılabilmektedir [20].

Korhonen ve Hietaniemi tarafından gerçekleştirilen, konut bölgesindeki ahşap cepheli çok katlı binaların yangın güvenliğinin incelendiği çalışmada ahşap kaplama malzemelerinin yangın güvenliği üzerinde deney yapılmıştır. Deney sırasında dört katlı bir binanın cephesinde kullanılan ahşap kaplama malzemesinin yangın sırasında verdiği tepkiler belirli periyotlarla gözlemlenerek bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizlerle alevlerin yayılma oranının yukarı yönde yaklaşık olarak 30 cm/dk olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.30, Şekil 2.31), [104].



Şekil 2.30 a) 0,5 dk., b) 2 dk., c) 6 dk., d) 12., e) 20 dk. sonucunda alevlerin cephede yayılma oranları [104]



Şekil 2.31 a) İlk 6 dk. içerisinde alevlerin cephede ilerlemesi, b) 20 dk. sonucunda cephenin son durumu [104]

2.3.3 Cam Kaplamalar

Cam temel olarak, silis kumunun lehim pastası ve dengeleyici bir malzeme ile birlikte ergimesi yoluyla hazırlanan sıvı kütlenin, yapısında kristalleşme olmadan soğutulması ve rijit bir hale getirilmesiyle elde edilmektedir [79, 88]. Yüksek bir viskoziteye sahip olan cam, sert, kimyasal olarak kararlı ve amorf özellik göstermekte ve yapıda pek çok alanda kullanılabilir [88]. Cephelerde ise cam; saydam, hafif bir malzeme olması, estetik bir görünüm kazandırması, istenilen açıklıkların geçilmesine olanak sağlaması ve taşıyıcı olma potansiyeli nedeniyle, özellikle çok katlı yapılarda ve giydirme cephelerde sıklıkla tercih edilmektedir [88]. Cam, cephede kullanıcı istekleri ve çevre koşulları doğrultusunda; yalıtımlı, ısı emen (renkli), yansıtıcı veya low-e (düşük yayımlı) camlar olarak farklı özelliklerde de üretilmektedir [100].

Cam ve alüminyum doğramalardan oluşturulmuş bir giydirme cephe sisteminde genellikle, 6 mm kalınlığa sahip float cam paneller tercih edilmektedir. Cam yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte, standart bir float cam ısıtılmaya başlandığında, 150-200 °C aralığındaki sıcaklık değerlerinde malzemenin köşelerinde çatlamlar oluşmaya başlamaktadır (Şekil 2.32).



Şekil 2.32 Dubai Marina Torch Tower yangını sonucunda cam kaplamaların durumu [105]

Yangın sırasında sıcaklığın 400 °C değerine ulaşması tek katmanlı camın kırılmasına veya düşmesine neden olmaktadır (Şekil 2.33) [106]. Çift cam kullanılarak oluşturulmuş bir cephede yapılan yangın testi sırasında, ilk katmandaki 6 mm kalınlığa sahip camın kırıldığı andaki sıcaklık ölçüldüğünde, 600-800 °C arasında bir değere ulaşıldığı belirtilmiştir. Çift katmanlı cam cephelerde yapılan bir yangın testinde ise ilk katmanda yer alan 6 mm çift cam panel kullanılmış, dış katmanda araya uygulanan bir jel tabakası ile 12 mm kalınlığında bir cam panel kullanılmıştır. Test sonucunda iç katmanda bulunan camın dış yüzeyindeki ve üst kattaki dış katmanda bulunan cam katmanının iç yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerlerinin 300 °C' nin altında olduğu tespit edilmiş ve bu değer camın kırılmasına neden olacak bir büyüklükte olmadığı ifade edilmiştir (Şekil 2.33), [78].



Şekil 2.33 Yangın sonucunda patlayarak etrafa saçılan temperlenmiş cam kaplamalar [107]

2.3.4 Taş Esaslı Kaplamalar

Taşlar, bir ya da birden fazla aynı veya farklı türdeki mineralin bir araya gelmesi sonucunda oluşan mineral toplulukları olarak tanımlanabilmektedir [108].

Cephelerde kullanılan taş esaslı kaplamalar doğal taş ve yapay taş kaplamalar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Doğal taşların yapısı gereği iç yapıları farklı özelliklerde olmaktadır. Gözenekli bir yapıya sahip olan doğal taş kaplamalar cephede kullanılmaları halinde çevre koşullarından zarar görmemeleri açısından malzemede koruyucu önlemler alınması gerekmektedir. Yapay taş kaplamalar ise, üretimleri

sırasında çeşitli özelliklerinin güçlendirilmesine olanak sağlamaları nedeniyle; su, nem, UV ışınları, mekanik basınç ve darbelere, donma-çözünme ve kimyasallara karşı dayanıklı olarak üretilmektedir [79]. Doğal taş kaplamalar BYKHY tarafından EK2' de yangına katkı sağlamayan, A1 sınıfı yanmaz malzemeler olarak kabul edilirken, yapay taş kaplamalar üretim sırasında farklı kimyasal tekniklerle işlem görmesi nedeniyle A1-A2 yanıcılık sınıfında değerlendirilmektedir.

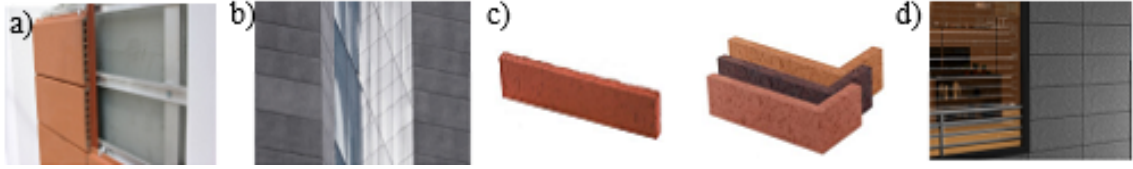
2.3.5 Seramik Esaslı Kaplama Malzemeleri

Pişmiş kilden üretilen seramik, bir alümina silikat minerali olan granit ve benzeri volkanik taşlardan (kayaçlardan) elde edilmektedir. Kil malzemenin büyük bir bölümü; alümina, % 40-80 oranında silika ve % 2-3 oranında demir oksitten yüksek sıcaklık altında malzemenin yapısında bozunmalar meydana gelmeyecek şekilde üretilmektedir [109]. Pişmiş kilden üretilen cephe kaplama malzemeleri; tuğla, terrakota, seramik, porselen, seramik-granit ve mozaik olarak sıralanmaktadır [100]. Seramik malzeme yangın karşısında yüksek direnime göstermekte ve A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme sınıfında yer almaktadır [92].

Tuğlalar, pişirilme özelliklerine, formlarına ve yapıda kullanıkları yere göre sınıflandırılmaktadır. Genel olarak dış duvarda, klinker tuğlalar kaplama malzemesi olarak kullanılırken, yatay ve düşey delikli tuğlalar duvar yapımında kullanılmaktadır [117]. Cephelerde kullanılan kaplama tuğlalarının dış ortam koşullarından etkilenmemesi amacıyla yalıtım malzemelerinin kullanımı gerekmektedir. Bu nedenle çoğunlukla, cephelerde kullanılan kaplama tuğlalarının arkasına EPS, XPS ve elyafli beton gibi yalıtım malzemeleri uygulanmaktadır [109, 110].

Terrakota, taştan daha az maliyetli, hazır kalıplarla uygulanabilir ve dayanıklı bir malzeme olması nedeniyle cephelerde kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Cephede yağmur perdeleme sistemlerinin kaplamasında da kullanılabilen terrakota, en az 25 mm hava boşluğu bırakılarak, duvara monte edilmiş, alüminyum grid sisteminin üzerine uygulanmaktadır [108]. Sırlı veya sırsız porselenlerin ufak parçalara bölünmesiyle edilen mozaik kaplama, istenilen motiflerin yaratılmasına olanak sağlaması ve estetik bir görünüm yaratması nedeniyle cephe kaplamalarında eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Sert, aşınmaya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır [100].

Seramik-granit malzeme; seramik, sıvılaştırılmış taş, feldispat, kuvars ve kilin karışımında üretilmektedir. Hammaddeler, bir araya getirilirken yüksek basınç altında ezilip, karıştırılır ve yaklaşık 1200 °C sıcaklıkta preslenip, form verilerek uygulamaya hazır hale getirilmektedir (Şekil 2.34), [100, 111].



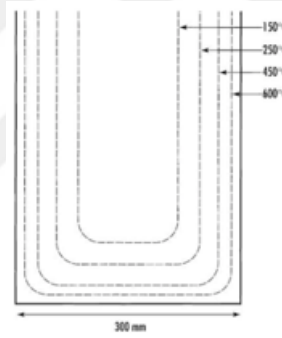
Şekil 2.34 a) Terrakota esaslı kaplama, b) porselen esaslı kaplama, c) klinker/ kaplama tuğla, d) granit-seramik kaplama [112–114]

2.3.6 Çimento Esaslı Kaplama Malzemeleri

Beton; çimento, agrega, su ve ihtiyaç halinde gerekli katkı maddelerinin karışımıyla hazırlanmaktadır [79, 100].

Yangın sırasında 250 °C'ye kadar betonun mukavemetinde bir kayıp görülmezken, 450 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda bu değer yarıya kadar inebilmekte ve 600 °C' de ise, bu oran çok daha azalmaktadır.

Beton, yangına karşı dört saat direnim gösterebilmekte ve A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme sınıfında yer almaktadır (Şekil 2.35), [100].



Şekil 2.35 Beton kesitinde 60 dk. boyunca yangın gelişimi [100]

Prekast betonarme cephe panelleri, panellerin taşıyıcılık ve katmanlaşma özellikleri doğrultusunda, farklı oranlarda çimento harcı ve donatı elemanlarından üretilmektedir.

Katmanlaşmasına göre ağır veya hafif prekast betonarme paneller olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Ağır prekast paneller yalıtımlı olarak üretilmekle birlikte harç ve donatı yoğunluğu yüksek olmaktadır. Bu nedenle, sahip oldukları ağırlıktan dolayı taşıma, montajda, depolamada ve tasarımda dezavantajlar yaratabilmektedirler (Şekil 2.36), [115].



Şekil 2.36 a) Ağır prekast betonarme panel, b) çimento esaslı kaplama [20, 116]

Cam elyafı katkılı prekast paneller ise, hafif prekast betonarme paneller olarak tanımlanmaktadır. 18 cm kalınlığa sahip panellerde panel ağırlığı 110-120 kg/m² arasında değişiklik göstermekte ve kabuk içerisinde, yoğunlukları 300-350 kg/m³ arasında değişen köpük beton kullanılmaktadır. Cam lifi katkılı paneller; ısı yalıtımı ve UV korunumuna sahip olmakla birlikte DIN4102 standardı kapsamında A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme olarak değerlendirilmektedir (Şekil 2.37), [117].



Şekil 2.37 Cam elyaf katkılı hafif prekast paneller ve yapıda uygulama örneği/ Bakü, Haydar Aliyev Kültür Merkezi [117–119]

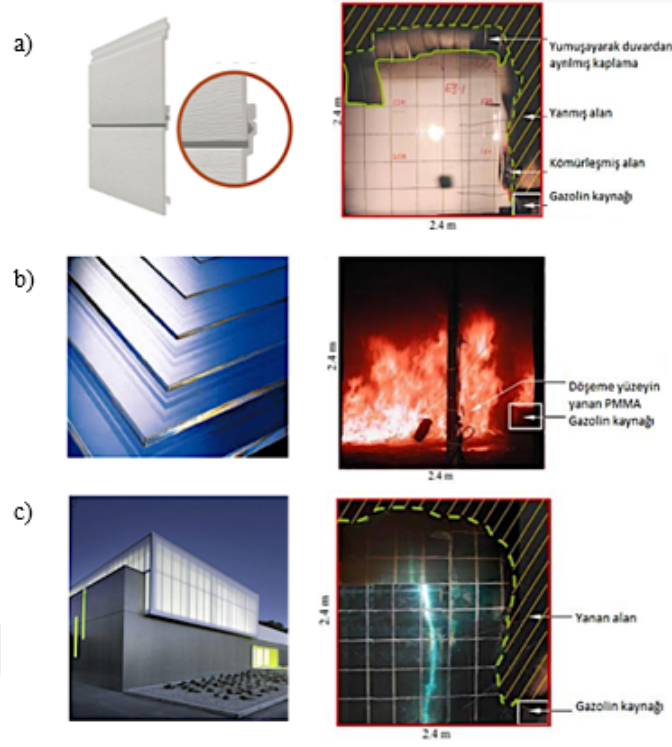
2.3.7 Plastik Esaslı Kaplama Malzemeleri

Plastik esaslı malzemelerin tümü polimerler olarak adlandırılmaktadır [86]. Yapıda genellikle düşük yoğunluklu ve yük taşımayan malzeme olarak kullanılan plastikler, geri dönüştürebilir ve farklı formlarda üretilebilen malzemelerdir [79]. Doğal veya sentetik organik bir malzeme olan plastik, yüksek moleküler ağırlıktaki termoplastik veya termoset polimerlerden üretilmektedir [100]. Plastik malzemelerin yapıya kazandırdığı avantajların başında hafif bir malzeme olması ve karmaşık formların üretimine imkan tanınması gelmektedir. Bunların yanı sıra; fazla bakım gerektirmemesi, düşük maliyet, montaj kolay bir malzeme olması da malzemenin sahip olduğu diğer avantajlar arasında yer almaktadır [100, 120]. Plastik esaslı

malzemeler ısı ve nem difüzyonuna karşı direnimli malzemeler olmakla birlikte, korozyona ve mikroorganizmalara karşı da direnim sağlamaktadır.

Plastik malzemeler yanıcı özellikte olup, yangın sırasında zehirli gaz ve duman açığa çıkarmaktadır [100]. Yapıda dış cephe kaplaması olarak kullanılan plastik malzemeler; polivinil klorür (PVC), akrilik kaplamalar, kompozit plastikler, cam lifi takviyeli polyesterler olarak sıralanmaktadır[100].

Bir termoplastik olan PVC yapıda en çok kullanılan plastik esaslı malzemelerdendir [79]. Kaplamaların yanı sıra; döşemelerde, borularda, yalıtımda ve pencere kasa/kanatlarında da PVC malzeme kullanılmaktadır [120]. PVC, yapıda yüksek oranda kullanılmasına karşın, 75 °C sıcaklıkta malzemenin yapısında yumuşama görülmeye başlamakta ve 127 °C' de malzemede ergime ile birlikte daha yüksek sıcaklıklarda, kenarları yeşil/sarı renkli alevler çıkararak yanmaya başlamaktadır. Yangın sırasında insan sağlığı açısından zehirli etki yaratan, karbon monoksit, hidrojen klorür ve kanserojen etkiye sahip benzen, klorinat dibenzodioksin ve klorinat dibenzofuran gibi gazları açığa çıkarmaktadır [121]. Başka bir termoplastik olan, polimetil metilakrilat (PMMA/akrilik), sert bir malzeme olması nedeniyle, boyalarda ve bitirme ürünlerinde katkı malzemesi olarak yüzey katılaştırmada ve cam malzeme yerine kullanılabilir. Ancak, 90 °C' de PMMA'nın yapısında yumuşama meydana gelmekte ve 90 °C' de yanma gerçekleşmektedir. Yangın sırasında tepesi sarı, mavi renkli alevler malzeme yüzeyi üzerinden yayılarak, malzemenin erimesine ve yanma damlalarının etrafa saçılmasına yol açmaktadır. Polikarbonat (PC) malzemeler de termoplastikler sınıfında yer almakta ve yapıda cam yerine tercih edilmektedir[121, 122]. Saydam, hafif, dayanıklı, morötesi ışınlara ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanım göstermesi polikarbonat malzemenin sahip olduğu avantajlar arasında yer almaktadır. Ancak, polikarbonat 220 °C' de ergimeye başlayarak, ilerleyen sıcaklıklarda sarı renkli alevler çıkararak yanmaya başlamakta, alevler sonlandığında ise, sönme eğilimi göstermektedir (Şekil 2.38), [122].



Şekil 2.38 Termoplastikler ve yanıcılık özelliklerinin incelenmesi a) PVC, b) PMMA, c) PC [122–125]

2.3.8 Kompozit Kaplama Malzemeleri

Kompozit malzemeler ise, özgün malzemelerden uyarlanarak yapıda çoklu fonksiyonlarda görev almaları amacıyla, tasarımdan beklenen özellikler doğrultusunda hibrit malzemeler oluşturularak üretilmektedir. Ahşap plastik kompozitler bu malzeme sınıfında en çok kullanılan cephe kaplama malzemesi olmaktadır [79]. Malzeme; polietilen, polivinil klorür, polipropilen sentetik polimerlerinin doğal lifler ve talaşla karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Yangın direniminde ise, aynı yoğunlukta ahşapla benzer performans göstermekte ancak, üretim aşamasında alev ve duman geciktirici özellikteki katkı malzemelerinin eklenmesi gerekmektedir. Corian, akrilik polimer, pigmentler ve doğal minerallerin biraraya getirilmesi sonucunda üretilen bir plastik kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır. Işığı ileten plastikler de, değişen ışık yoğunluğuna ve nesnelerin hareketine bağlı olarak renk değişikliklerini yansıtabilmeleri nedeniyle kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [100].

Cam takviyeli polyester (CTP) malzemeler ise, genellikle yüksek yapılarda kullanılmaktadır. Betonarme veya tuğla duvarların üzerinde estetik bir görünüm yaratma amacıyla kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Öte yandan, CTP kaplamalar yüksek maliyete gerektirmeleri nedeniyle, yapıda termoplastik kaplamalar

kadar yaygın kullanılmamaktadır (Şekil 2.39), [120].

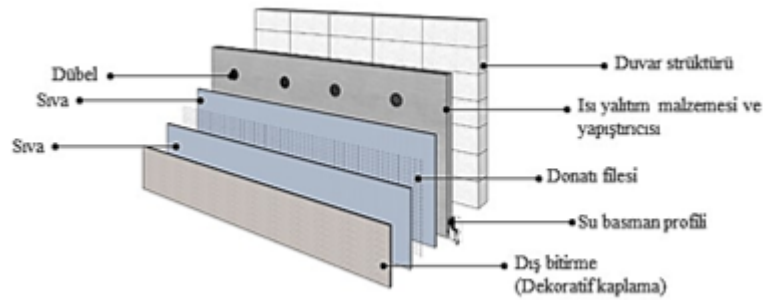


Şekil 2.39 a) CTP kaplama, b) ahşap-plastik kompozit kaplama, c) corian kaplama [126–128]

2.4 Yalıtım Malzemeleri

Yapı kabuğunda termal, akustik konfor ve enerji korunumu sağlamak amacıyla cephe kaplamalarının arkasında yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır [92, 129].

Yalıtım malzemeleri yapım sırasında dış duvarlara yapıştırılıp, dübellerle duvara mekanik olarak sabitlenerek, cephe kaplama sistemine eklenmektedir. Isı yalıtımlı kompozit cephelerde, yalıtım malzemelerinin üzerine bir veya daha çok katmandan oluşan donatı fileli sıva doğrudan uygulanmakta ve sistem son kat kaplama malzemesi ile kaplanmaktadır. Cephede bulunan diğer elemanlarla karşılaştığı noktalarda sistem, su basman veya köşe profili gibi özel bağlantı elemanları ile tamamlanmaktadır [130] Son adımda, sistemin dış ortamla temas eden yüzeyi dekoratif bir cephe kaplama elemanı ile kaplanarak, arkadaki katmanlar dış etkenlere karşı koruma altına alınmaktadır (Şekil 2.40).



Şekil 2.40 Kompozit cephede ısı yalıtımı uygulaması

Yalıtımda kullanılan malzemeler;

- Taş yünü,
- Cam yünü,

- Cam kaplamalar,
- Ekstrudepolistren (EPS) köpük,
- Genleştirilmiş polistren (XPS) köpük,
- Poliizosiyanürat (PIR) köpük,
- Poliüretan (PUR) köpük,
- Sprey poliüretan köpük (SPF),
- Modifiye edilmiş fenolik köpük,
- Polietilen köpük polimerler olarak sıralanmaktadır [20, 92, 129].

Yalıtım malzemeleri özellikle soğuk iklim koşullarının etkili olduğu bölgelerde yönetmelikler tarafından zorunlu tutulmaktadır. Cephelerde enerji korunumu sağlamalarına karşın polimer köpük yalıtım malzemeleri yanıcı özelliktedir [92, 129]. Bu nedenle, bu tür malzemeler yapıda olası bir yangın sırasında alevlerin kaplamalar üzerinden hızla yayılmasına ve yangının büyümesine yol açabilmektedir (Tablo 2.1) (Şekil 2.41).

Tablo 2.1 Cephelerde kullanılan yalıtım malzemeleri [100, 129, 131–139]

Yalıtım Malzemesi	Tanım	Yanıcılık Özelliği
Taşıyünü	TSEN 13162 standardına göre, inorganik kökenli hammaddelerin 1350 °C-1400 °C’de ergitilmesi ile elyaf haline getirilmesi sonucunda elde edilmektedir [144].	TS EN 13501-1 kapsamında A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme olarak üretilmektedir ve erime sıcaklığı 1000 °C’nin üzerine çıkmaktadır [144].
Camyünü	İnorganik malzemelerin 1200 °C - 1250 °C’de ergitilmesi ve elyaf haline getirilmesi sonucunda elde edilmektedir [145].	TS EN 13501-1 kapsamında A1 sınıfı hiç yanmaz malzeme olarak değerlendirilmekte ve erime sıcaklığı 800 °C’ nin üzerine çıkmaktadır [145].
Extrüde Polistren (XPS) Köpük	Organik kökenli olması nedeniyle yanıcı özellik göstermektedir. 8 mm – 100 mm arasındaki kalınlıklarda üretilmektedir. Sandviç panellerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [141,94,146].	75 °C’ de yanmaya başlamakta ve Avrupa yanıcılık sınıflandırılmasında E sınıfı malzeme olarak gösterilmektedir. Yangın sırasında toksik ve boğucu gaz salınımı gerçekleştirmektedir [141,94,146].
Ekspande (Genleştirilmiş) Polistren (EPS) Köpük	Petrol içerikli organik olması nedeniyle yanıcı özelliktedir. Gri EPS ve beyaz EPS olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Gri EPS içeriğinde grafit bulundurması nedeniyle beyaz EPS’ e göre daha fazla yangın direnimine sahip olmaktadır [95,141,147].	70-80 °C aralığında malzeme yapısında bozulmalar görülmekte ve DIN4102 standardı kapsamında B1 yanıcılık sınıfında değerlendirilmektedir [95,141,147]. Doğru uygulama ve korumalı kaplama ile yanıcılık özellikleri iyileştirilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada 4.5 mm kalınlığındaki lifli çimento levhalar ile kaplanan EPS malzemelerin yüzeye alev geciktirici özellik kazandırdığı ortaya konulmuştur [147].
Poliizosiyanürat (PIR) Köpük	Poliüretan, izosiyanat ve polyol karışımının yüksek basınç altında çeşitli kimyasal katkı maddeleriyle işlem uygulanarak, preslenmesiyle elde edilen rijit bir yalıtım malzemesidir. Sandviç panellerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [149].	TS EN13501-1 kapsamında yanıcılık sınıfı B1, s0, d0 yanıcılık sınıfında değerlendirilmektedir [149].

Tablo 2.1 Cephelerde kullanılan yalıtım malzemeleri (devamı)

Poliüretan (PUR) Köpük	Organik kökenli, rijit; ancak yangın direnimi düşük bir ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanabilmektedir [108].	Yanma sırasında siyanür ve izosiyanat gibi insan sağlığı açısından son derece zehirleyici etkisi olan gazlar açığa çıkarmaktadır [108].
Sprey Poliüretan Köpük (SPF)	Poliüretanın yerinde enjeksiyon veya spre yöntemi ile uygulanmaktadır [152].	EN-ISO 13501 standardı kapsamında yanıcılık E sınıfı olarak belirtilmekte ve DIN4102 kapsamında B2, B3 yanıcılık sınıfı kapsamında ele alınmaktadır [152].
Modifiye Edilmiş Fenolik Köpük	Fenol-formaldehit reçinesinin katalizör ve yüzey aktif maddeler ile tepkimesinden elde edilmektedir. Kullanımının diğer malzemeler kadar yaygın değildir. [154].	165 °C - 175 °C' sıcaklık aralığında malzeme yapısında bozunma meydana gelebilmektedir [154,155]. Yanıcılık sınıfı Alman DIN sınıflandırması kapsamında B1 ve EN 13501-1 kapsamında Euroclass B-s1-d0 olarak belirtilmektedir [156].
Polietilen (EP) Köpük	Yanıcı özelliğe sahip, kapalı gözenekli, esnek bir yalıtım malzemesidir [157]. Metal kompozit panellerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır Ancak, 2010 yılından itibaren yüksek katlı yapılarda meydana gelen yangın olayları incelendiğinde, büyük çoğunluğunun cephede kullanılan PE köpük yalıtım malzemesinin tutuşması nedeniyle ilerlediği görülmektedir.	Yanıcılık sınıfı TS EN 13501-1 kapsamında E olarak belirtilmektedir [157].



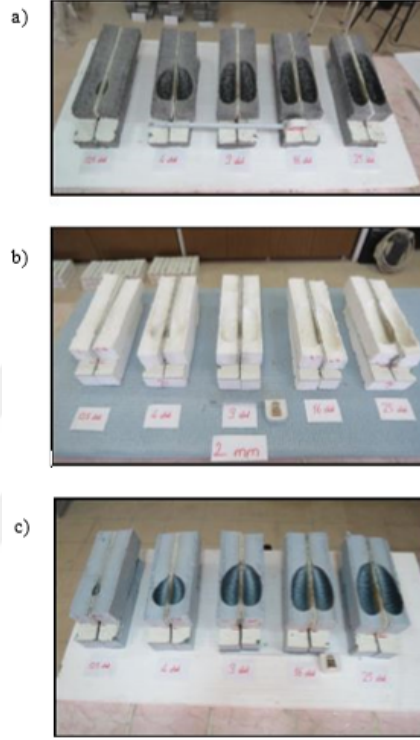
Şekil 2.41 Cepelerde kullanılan yalıtım malzemeleri [140–144]

XPS ve EPS levhalarının yangın direnimlerini belirlemek amacıyla yapılan yangın deneylerinde aynı kalınlık (50 mm) ve yoğunluğa (16 kg/m³) sahip; XPS, beyaz EPS ve gri EPS yalıtım malzemeleri TS EN ISO 11925-2 standardı kapsamında küçük bir alev kaynağına maruz bırakılarak malzemelerin tutuşabilirliği incelenmiştir. Deneyde ilk olarak yalıtım malzemelerinin yanıcılık sınıfları incelenmiş ve 80 °C civarında EPS ve XPS malzemelerin yapısında yumuşama başladığı tespit edilmiştir (Şekil 2.42), [137].



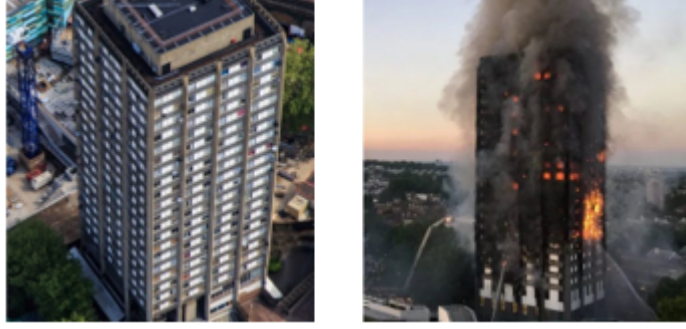
Şekil 2.42 Deneyde kullanılacak olan yalıtım malzemelerinin yanıcılık özelliklerinin belirlenmesi [129]

Deneyin diğ er aş amasında ise yalıtım malzemelerinin yüzeyi 2 mm sıva ve bitirme elemanı olarak 2 mm dekoratif sıva uygulanarak, 25 dk. boyunca bir alev kaynağına maruz bırakılmış tır. Malzemelerin yüzeyinde ilk 0.5 dk. içerisinde sıcaklık 270 °C iken, 25 dk. sonra bu sıcaklığın 470 °C' ye ulaşt ığı tespit edilmiştir. Yapısında bozunmalar görülen malzemelerin alev kaynağına maruz kalan bölgelerinden yukarı tarafı ölçüldüğünde ise sıcaklığın 50 °C olarak ölçüldüğü belirtilmiştir (Ş ekil 2.43), [129].



Ş ekil 2.43 Yangın testleri sonucunda sırasıyla a) beyaz EPS, b) gri EPS ve c) XPS numunelerinin yanması sonucunda sıva arkasında oluşan hasarlar [129]

Plastik iç erikli köpük yalıtım malzemeleri, düşük maliyet, yüksek enerji korunumu ve hafiflik gibi avantajlara sahip olması nedeniyle son yıllarda, yüksek katlı yapıların cephelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak, son yıllarda yüksek yapılarda meydana gelen yangın olayları incelendiğinde son derece yanıcı özellikteki bu malzemelerin yangının cephede hızla yayılmasına neden olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yangın yönetmelik ve standartlarında bu tür malzemelerin kullanımına sınırlama getirilmiştir. 2017 yılında Londra, Grenfell Tower'da cephede kullanılan 150 mm kalınlıklı EP dolgulu çinko kompozit kaplama malzemesinin tutuşmasıyla, yangın tüm cephelere hızla yayılmış ve 71 kişi hayatını kaybetmiştir. EP dolgulu cephe kaplama malzemeleri Almanya standartlarında kalınlığı 12 mm'den az, korumasız ahş ap malzeme ile aynı yanıcılık sınıfında ele alınmakta ve ABD standartları kapsamında 12 m' den yüksek yapılarda malzemenin kullanımına izin verilmemektedir (Ş ekil 2.44), [13].



Şekil 2.44 Grenfell Tower Yangını [13]

Türkiye’ de ise, 2018 yılında Taksim Gaziosmanpaşa Eğitim ve Araştırma Hastanesi’ nde meydana gelen yangında yapımı devam eden bloğun cephe kaplamalarının tutuşmasından kısa bir süre sonra yangın tüm cepheyi etkisi altına almıştır. Morg bölümünün karşısında yer alan atık cam şişe kumbarasının tutuşması sonucunda, açığa çıkan alevli yoğun dumanın A, C ve D bloklarının plastik esaslı dış cephe kaplama malzemelerini de tutuşturduğu ve açığa çıkan yoğun duman ve gazların yapı içine ve çevreye yayılmasına neden olduğu belirtilmektedir. Paylaşılan itfaiye raporunda, 300 kişinin kurtarıldığı, A, C ve D bloklarının tüm dış cephe kaplamalarının 2. ve 9. katlar arasındaki bu cepheleri gören ofislerin, hasta odalarının, koridorların, cihazlarının, tıbbi malzemelerin ve çeşitli evrakların zarar gördüğü belirtilmiştir (Şekil 2.45), [145].



Şekil 2.45 2018 Yılı Taksim Gaziosmanpaşa Eğitim ve Araştırma Hastanesi Yangını [145]

2010-2019 yılları arasında yüksek katlı yapılarda meydana gelen diğer cephe kaynaklı yangın olayları Tablo 2.2’de nedenleri ile birlikte yer almaktadır.

Tablo 2.2 Yüksek katlı yapılarda yaşanan cephe yangınları ve nedenleri [5–19]

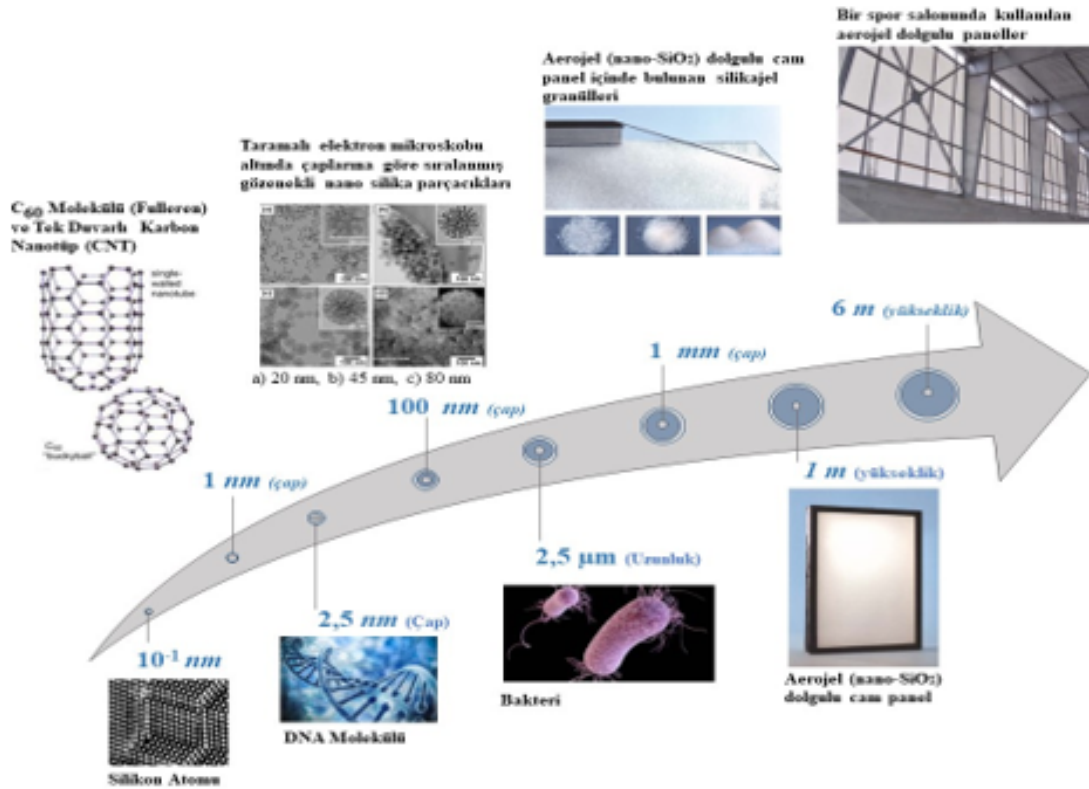
Yangının Meydana Geldiği Yapı	Yıl	Yangının Çıkış Nedenleri
Wooshin Golden Suites Güney Kore 2010	2010	4.katta çıkan yangının cepheye ulaşmasıyla, dış cephede bulunan polietilen dolgulu alüminyum kompozit panellerin tutuştuğu ve yangının 20 dakika içerisinde binanın tepesine ulaştığı belirtilmektedir.
KonutYapısı Çin 2010	2010	Yenileme çalışmaları sırasında, kaynak kıvılcımlarının bambu iskelelerin üzerinde bulunan poliüretan köpük (PU) yalıtım malzemelerini tutuşturması, dış duvar üzerindeki naylon koruyucu ağ ve PU yalıtım malzemelerinin tamamının 14 dakika içerisinde yanmasına neden olmuştur.
Wanxin Kompleksi Çin 2011	2011	Havai fişek gösterisi sırasında, kaide binası olan D Binası' nın çatısına düşen kıvılcımlar birkaç dakika sonra, B Kulesi' nin dış cephesinde bulunan alüminyum kompozit panelleri ve panellerin arkasındaki ekstrüde preslenmiş polistren (XPS) ısı yalıtım malzemeleri de tutuşturarak 20 dakika içerisinde kulenin tepesine ulaşmıştır.Buradan sıçrayan alevler, A Kulesi' ndeki alüminyum panellerin ve genişleştirilmiş polistren (EPS) yalıtım malzemesinin kullanıldığı cephe yüzeylerinin de yanmasına neden olmuştur.
Mermoz Tower Fransa 2012	2012	Birinci kattaki bir balkondan başlayarak, cephede bulunan polietilen dolgulu alüminyum kompozit panel kaplamalarını tutuşmasına yol açan yangının çıkış nedeni henüz bilinmemektedir.
Polat Tower Türkiye 2012	2012	Havalandırma ünitesinden kaynaklanan yangın, doğu cephesinin kuzey köşesindeki alüminyum dış cephe kaplamalarını ve metal kaplamalar arasında bulunan polistren dolguyu da tutuşturarak cephe boyunca yayılmıştır. Yangın sırasında cephe kaplamalarından kopan parçaların çevredeki yapılara da zarar verdiği belirtilmiştir. Ayrıca, cephenin yanan yüzeyinin gerisinde perde beton olup, pencere açıklığının bulunmaması alev ve dumanların iç mekanlara yayılmasını engellemiştir.

Tablo 2.2 Yüksek katlı yapılarda yaşanan cephe yangınları ve nedenleri (devamı)

Tamweel (Al Seef) Tower BAE 2012	2012	Yapının yakınında çalışan işçiler tarafından atık yığınının bırakılan sigara izmaritleri polietilen dolgulu alüminyum kompozit panel kaplamalı dış cepheyi tutuşturarak, tamamen yanmasına neden olmuştur. 5.5 saat süren yangın sonucu, yapı kullanılamaz duruma gelmiştir.
Lacrosse Tower Avustralya 2014	2014	Yanmakta olan bir sigaranın, plastik bir yiyecek kabında bırakılmasının yol açtığı yangın alüminyum kompozit kaplama panellerinin tutuşmasına neden olarak yapının cephesine yayılmıştır.
Marina Torch Tower BAE 2015	2015	Alüminyum cephe kaplama malzemesinin kullanıldığı yapıda 51. kattaki bir balkonda yapılan barbekü nedeniyle meydana gelen yangın kısa sürede yapının en üst noktasına kadar yayılmıştır.
Konut Yapısı Azerbaycan 2015	2015	Yenileme çalışmaları sonrasında alüminyum kompozit panellerin tutuşmasıyla başlayan yangın, üç saat sonunda kontrol altına alınabilmiştir.
Nasser Tower BAE 2015	2015	3.katta başlayan yangın alüminyum kompozit panellere yayılarak cephe boyunca ilerlemiştir.
Hotel The Address BAE 2015	2015	Yapının 20. katında çıkan yangının çıkış nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte, alevler polietilen dolgulu alüminyum kompozit paneller boyunca ilerleyerek tüm cephenin yanmasına neden olmuştur.
Grenfell Tower İngiltere 2017	2017	Yangın dayanımına sahip olan (FR) alüminyum kompozit panelyerine, birim maliyeti olarak £2daha ucuz olan polietilen (PE) dolgulu alüminyum kompozit panellerin kullanılmasının yangının cephede saniyeler içerisinde üst katlara ulaşmasına neden olduğu belirtilmektedir.
Marina Torch Tower BAE	2017	2015 yılından sonra cephede tekrar meydana gelen yangının çıkış nedeni bilinmemektedir. Cephede kullanılan alüminyum kompozit panellerle ilgili yapılan testler sonucunda, malzemelerin yangın yanıcılık özelliklerinin İngiltere yönetmeliklerine uygun olmadığı görülmüştür.
Konut Yapısı Güney Kore	2018	Bodrum kattaki otoparkta yanan bir arabadan yayılan alevler, alüminyumkompozit panel kaplamalı cepheye sıçrayarak yanmasına neden olmuştur.

2.5 Nano-malzemeler ve Cephelerde Kullanımı

Etimolojik kökeni Yunanca “nanos” (cüce) kelimesine dayanan nano kelimesi milimetrenin milyonda birine karşılık gelen bir fiziksel büyüklük terimi olarak kullanılmaktadır. Bir diğer ifadeyle 5 veya 10 atomun yan yana dizilimiyle meydana gelen fiziksel büyüklük 1 nanometre (nm) olarak tanımlanmaktadır. Büyüklük olarak, 1 nanometre (nm), 10⁻⁶ milimetre (mm) ile 10⁻⁹ metreye (m) karşılık gelmektedir. Nanoteknoloji ise 1nm -100 nm’ lik bir boyut aralığında malzemelerin yapısında değişiklikler yapmaya olanak sağlayan çalışmaların tümü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.46), [25].



Şekil 2.46 Nesnelerin nano ölçekten metrik ölçeğe doğru sıralanması [146]

Nanoteknolojide malzemenin yapısında nano boyutta çeşitli düzenlemeler yapılarak makro boyutta malzemeye istenilen özelliğin kazandırılması, performansının artırılması ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Nano malzemeleri konvansiyonel malzemelerden farklı ve üstün kılan yönü ise, üretim yöntemleri olarak ifade edilmektedir. Nano parçacıkların atom veya atom dizimlerinde yapılan düzenlemeler, mevcut malzemelerin istenilen özelliklerinde iyileştirmeye ya da üstün özellikli yeni bir nano malzemenin üretimine olanak sağlamaktadır [25, 147, 148].

Leydecker'e göre nanoteknolojik malzemelerin endüstride kullanılma nedenleri;

- Mevcut malzemelerin yapısında değişiklikler yapılarak istenilen özelliklerin iyileştirilmesi,
- Malzemelerin yapılarını gelebilecek olası hasarlara karşı koruma,
- Malzemenin ağırlığında ve/veya hacminde azalma sağlama,
- Üretim aşamalarının kolaylaşması ve kısılması,
- Saha kaliteli malzemelerin üretilmesiyle etkin ve uzun ömürlü bir kullanım sağlanması,
- Malzeme bakım ve onarımının kolaylaşması,
- Çevreye duyarlı ve sürdürülebilir malzemelerin üretimi,
- Etkin elektrik ve ısı iletimine sahip malzemelerin üretimi olarak sıralanabilmektedir [24, 25].

2.5.1 Nanoteknoloji ve Mimarlık

Sağladığı önemli avantajlardan dolayı nano malzemelerin en çok tercih edildiği sektörlerden birinin yapı olduğu söylenebilmektedir. Yeni malzeme üretimine elverişliliği, kolay ve hızlı üretim süreci, nakliye ve montaj kolaylığı, hafiflik, çok yönlü, etkin ve uzun ömürlü kullanım gibi olumlu özelliklerinden dolayı nano malzemelerin yapı sektöründe kullanım alanı gün geçtikçe genişlemektedir. Özellikle, nanoteknoloji ve sürdürülebilirlik alanlarındaki gelişmeler nano malzemelerin mimaride tercih edilmesine neden olmaktadır. Buna ek olarak, sera gazı emisyonu ve iklim değişikliği gibi konularda yapı sektöründe nanoteknolojinin etkin bir görevi olduğu görülmektedir [24, 25, 149]. Nano malzemeler konvansiyonel yapı malzemelerine kaplama veya katkı malzemesi olarak uygulanıp belirli özelliklerin geliştirilmesinde ya da yeni malzeme üretim teknikleri oluşturulmasında kullanılabilmektedir. Yapıda nano malzemelerin kullanıldığı alanlar çatı, cephe, döşeme sistemleri, güneş pilleri, iç mekan dekorasyonu, taşıyıcı ve mekanik sistem olarak sıralanabilmektedir[150]. Yapılarda kullanılmak üzere geliştiren nano malzemeler hızlıca üretilebilmekte ancak, uygulanabilir hale gelmesi amacıyla bir takım standartlardan geçirilip, onaylama ve patent alma süreçlerinden sonra piyasaya sunulmaktadır [25].

Nano malzemeler yapıya kazandırdıkları, kendi kendini temizleme, kolay temizlenme, yüzeylere anti bakteriyel özellik kazandırma, havayı temizleme, yüzeylerde su buharı

oluşumunu önleme, termal izolasyon, UV koruması, güneş denetimi, yangın direnimi, yansıma önleme, grafiti tutmama, parmak izi tutmama, darbelere ve çizilmelere dayanım gibi özelliklerinden dolayı mimaride kullanılmaktadır [25, 149, 151–153].

Nano-malzemelerin yangın sırasındaki davranışlarının incelenebilmesi için karakteristik özelliklerinin bilinmesi cephelerde kullanımı açısından önem oluşturmaktadır. Nano-malzemeler; yapılarına, içeriklerine ve boyutlarına göre olmak üzere farklı şekillerde gruplandırılmaktadır.

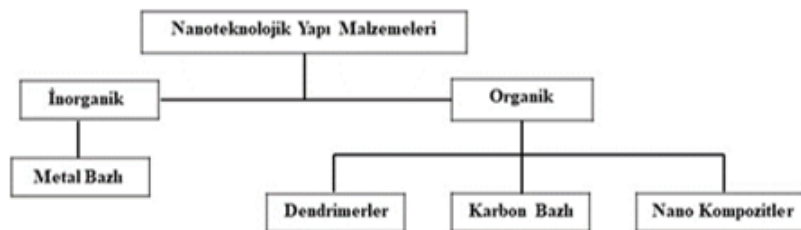
2.5.2 Yapılarına Göre Nano-Malzemeler

Oberdörster çalışmasında, nano-partikülleri doğa veya insan kaynaklı olmak üzere iki grupta ele alırken; Hansen, bu yapıları kontrollü bir şekilde mühendislikle sentezlenen veya kontrol dışında sonradan yan ürün olarak ortaya çıkan insan kaynaklı yapılar olmak üzere farklı bir yöntemle değerlendirmektedir.

Nowack ve Bucheli'ye göre ise, nano partiküller yapılarında karbon (C) bulundurma durumlarına göre organik ve inorganik olarak sınıflandırılmaktadır. Oberdörster ve Hansen'ın çalışmalarında da bahsedilen nano partiküller, yapılarına göre organik veya inorganik olarak, bu yöntem kapsamında ele alınabilmektedir. Yapısında karbon içeren, organik nano malzemeler doğa kaynaklı biyojenik, geojenik, atmosferik veya pirojenik parçacıklardan oluşmaktadır. Karbon nanotüpler (CNT's) ve fullerener bu alt başlıkta yer almaktadır. Yapısında karbon bulundurmayan inorganik kökenli nano malzemeler ise nano-silika (nano-SiO₂) veya seramik örnek olarak verilebilmektedir [154]

2.5.3 İçeriklerine Göre Nanomalzemeler

Yapıda kullanılan nano-malzemeler içeriklerine göre; karbon bazlı nano-malzemeler, metal bazlı nano-malzemeler, dendrimerler ve nano-kompozitler olmak üzere dört başlık altında incelenmektedir (Şekil 2.47).



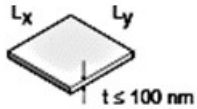
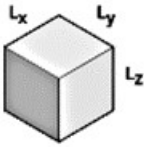
Şekil 2.47 İçeriklerine göre nano-malzemelerin sınıflandırılması

Karbon bazlı nano-malzemeler: Yapısında karbon (C) içeren malzemeler olarak tanımlanmakta ve içi boş küre, elipsoid veya tüp formlarında bulunmaktadır. Yapıda, geliştirilmiş film ve kaplamalara ek olarak, hafifletilmiş ve mukavemeti artırılmış malzemelerde kullanılabilen bu yapılardan küre ve elips formlarına sahip olanlar fullerenler (C60, bucky balls), silindirik forma sahip olanlar ise karbon nanotüpler olarak adlandırılmaktadır [155].

Metal bazlı nano-malzemeler: Nano-titanyum dioksit (nano-TiO₂), nano-demir III oksit (nano-Fe₂O₃) nano-gümüş (nano-Ag) ve nano-bakır (nano-Cu) gibi kuantum noktaları içeren nano malzemeler bu grupta yer almaktadır. Yarı iletken ve kristal özellikte olan kuantum noktaları, yüzlerce veya binlerce atomdan meydana gelmekte ve boyutlarının değiştirilmesi ile birlikte optik özellikleri de değişebilmektedir [156].

2.5.4 Boyutlarına Göre Nano-malzemeler

Bilim insanları bu malzemeleri farklı değişkenleri göz önünde bulundurarak sınıflandırmaktadır. Örneğin, Hett A. nano malzemeler boyutlarına göre değerlendirilirken, tüm boyutların nano ölçeğe bulunan malzemeleri 3 boyutlu, nano ölçek dışında kalanları ise 1 boyutlu olarak yorumlarken; Shodeck çalışmasında, tüm boyutları nano ölçeğe bulunan malzemeleri 0 boyutlu, tüm boyutları nano ölçekten büyük olan malzemeleri ise 3 boyutlu olarak kabul etmiştir [156, 157]. Yapıda kullanılan nano-malzemeler değerlendirilirken Schodeck'in çalışması göz önünde bulundurularak; yapılarına, içeriklerine ve boyutlarına göre sınıflandırılarak incelenecektir. Nano malzemeler boyutlarına göre 0 boyutlu, 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu olmak üzere 4 başlık altında incelenmektedir. 0 boyutlu nano malzemelerde bütün boyutlar nano ölçeğe bulunurken (100 nm'den daha küçük), 3 boyutlu malzemelerde ise bütün boyutlar nano ölçekten daha büyük olmaktadır. Boyutlarına göre nano malzemeler Şekil 2.48'de detaylı olarak ele alınmaktadır [156].

0 Boyutlu		Tüm boyutlar (x, y, z) nano ölçekte bulunmaktadır. -Quantum Noktaları, Nano parçacıklar, Fullerenler, Dendrimerler
1 Boyutlu		İki boyut (x, y) nano ölçekte, diğer boyut (L) makro ölçekte. -Karbon Nanotüpler (CNT'S), Nanoteller
2 Boyutlu		Tek boyut (t) nano ölçekteyken, diğer iki boyut (Lx, Ly) nano ölçek dışındadır. -Nano Kaplama, Nano Film, Grafen
3 Boyutlu		Bütün boyutlar (Lx, Ly, Lz) nano ölçek dışındadır. -Nano Kompozitler

Şekil 2.48 Nano-parçacıkların boyutlarına göre sınıflandırılması [156]

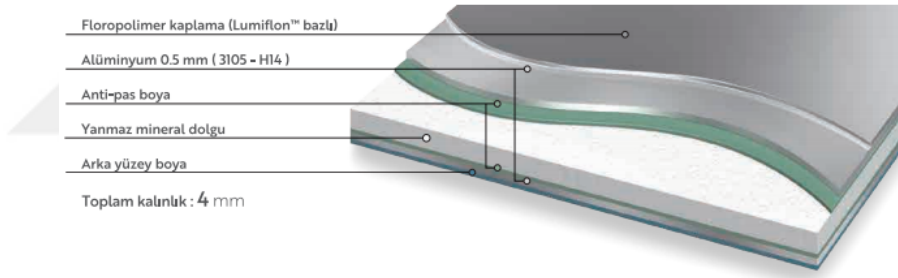
2.6 Nano-kaplamalar ve Cephelerde Kullanımı

Daha yoğun bir malzeme elde edilmesi amacıyla, boya veya ince film malzemelerin yapısına nano ölçekte malzemelerin eklenmesiyle oluşturan nano-kaplamalar, yeni ve gelişmiş özelliklere sahip olmaktadır [26, 153]. Nano-kaplamaların yüzeylere kazandırdığı olumlu özellikler:

- İyileştirilmiş yüzey görünümü,
- Arttırılmış kimyasal dayanım,
- Aşınmaya karşı dayanım,
- Optik netlik,
- Kolay yüzey temizliği,
- Etkin termal ve elektriksel iletim,
- Çizilmeye karşı direnç,
- Kromat ve kurşun gibi çevre ve insan sağlığı açısından zararlı bileşenler içermeme,

- Yansıma önleme,
- Her türden yüzeye uygulanabilirlik,
- Yangın direnimi,
- Grafiti çizilmesini, çürümeyi ve buğulanmayı önleme olarak sıralanmaktadır [153].

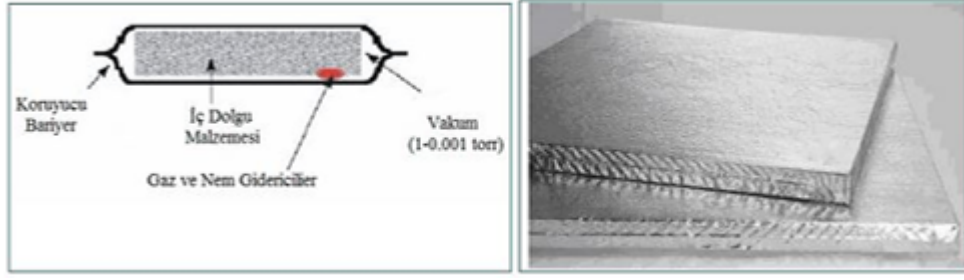
Bir cephe kaplama malzemesi olarak üretilen alüminyum alaşımlı levhaların arasında dolgu olarak yanıcı özellikteki Polietilen (EP) malzeme yerine yanmaz mineral malzemenin dolgu olarak kullanılması, yangın sırasında alüminyum katmanların yarattığı akma ve damlama davranışlarını önlemektedir. Panellerin üst yüzeyinde kullanılan Lumiflon adı verilen nano kaplama ise panelleri dış ortam koşullarından korumakta olup; yüzeye pürüzsüzlük, anti korozyon, kolay işlenebilirlik, renk bütünlüğü ve dayanımı gibi özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca, paneller Avrupa Yangın Standardı olan Euroclass sınıflandırmasında ve EN 13501-1 test koşullarında, A1 olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.49), [158, 159].



Şekil 2.49 ALPOLIC A1'i oluşturan katmanlar [159]

2.7 Nano-izolasyon Malzemeleri ve Cephelerde Kullanımı

Nano-malzemeler ile termal izolasyon kapsamında, vakum yalıtım panelleri (VIPs) ve aerogel (nano silika) dolgulu cam panel ürünler üretilmektedir. Bu sayede, yapılarda kullanılan ısı yalıtım ürünlerinde minimum kalınlık ve yüksek verim amaçlanmaktadır. Konvansiyonel malzemelerle karşılaştırıldığında 6-7 kat daha fazla enerji korunumu sağlamaktadır. Kalınlıkları 2-40 mm aralığında olan vakum yalıtım panelleri (VIPs) 0.005 W/mK ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Yeni yapılarda, 30 - 50 yıl arasında kullanım ömrü sunmakla birlikte, eski binaların restorasyonunda duvarlarda ve yerlerde de kullanılmaktadır (Şekil 2.50), [24, 25, 151].

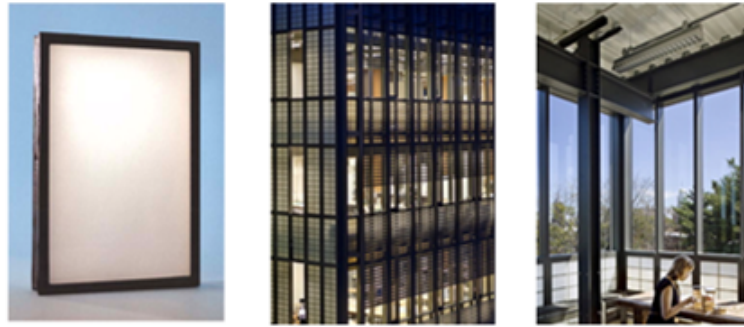


Şekil 2.50 Vakumlu ısı yalıtım panelleri (VIPs) ve yapıya uygulanması [160]

Cephelerde kullanılan bir diğer nano-malzeme olan aerojel ise, % 99,8'i havadan oluşan oldukça hafif bir nano malzemedir ve içerisinde yanma direnimine sahip nano silika katkısı bulunmaktadır. Malzemenin yapısında buluna hava 20 nm büyüklükteki nano hücrelere hapsedilmiştir. Hafiflik, seffalık ve etkin performans sağlaması nedeniyle, aerojel oldukça avantajlı bir nano malzeme olarak görülmektedir (Şekil 2.51 2.52), [24, 25].



Şekil 2.51 Aerojel ve Aerojel katkılı ısı yalıtım paneli [25]



Şekil 2.52 Aerojel katkılı ısı yalıtım panellerinin bina cephelerinde kullanımı [25]

Yangın direnimde kullanılan bir nano malzeme olan, aerosil yangın süresince köpük halinde patlayarak çıkış yollarını alevlerden korumaktadır ve ek katmanı şeffaf olduğundan dolayı görünmez özelliktedir. İsviçre’de bir cam firması nano teknoloji ile ürettiği cam paneller arasına 3 mm kalınlığındaki dolgu malzemesi yerleştirerek 1000 C ’nin üzerindeki ısı karşısında 120 dakikadan fazla yangın direnimi sağlayabilen cam yapı ürünleri üretilmektedir. Aerosil, yüksek yangın dayanımı nedeniyle cam panellerin arasında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.53), [25].



Şekil 2.53 Aerosil dolgulu cam cephe panelleri, Deutsche Post yapısı (Almanya)
[161]

Nano-malzemelerin sağladıkları avantajlar nedeniyle cephelerde kullanım alanı giderek artmaktadır. Tablo 2.3'te cephelerde kullanılan nano-malzemeler, yapıya sağladıkları avantajlar ve kullanım alanları doğrultusunda ele alınmaktadır.

Tablo 2.3 Yapıda kullanılan nano-malzemesler ve kullanım alanları [24, 25, 149–152, 162–167]

Nano-malzeme	Yapıya Sağladığı Avantajlar	Yapıda Kullanıldığı Alan
Nano-TiO₂ (metal bazlı)	- Fotokatalitik özellik - Kendi kendini temizleyebilme - İç mekan hava kalitesini artırma - Anti-bakteriyel özellik kazandırma - Süper hidrofilik yüzey yaratma - Yüzeyde buhar oluşumunu önleme - UV korunumu - Hidrasyonu hızlandırma - Bakım onarım maliyetleri, işgücü, doğal kaynakları ve zamandan tasarrufa olanak sağlama - Çevre sağlığına zararlı olabilecek maddeler içermeme - Çevre kirliliğine neden olmama - Malzemelerin kullanım ömrünün uzaması -Yangın direnimi	-Beton -Yüzey kaplaması veya kaplamada katkı malzemesi olarak - Cam - PV paneller -Ahşap
Nano-SiO₂ (Silis dumanı veya metal oksit)	-Kendi kendini temizleyebilme -Yansıma oluşumunu önleme -Güçlendirilmiş beton -Yangın direnimi -Çevre kirliliğine neden olmama -Malzemelerin kullanım ömrünün uzaması -Çizilmelere karşı direnir	-Yüzey kaplaması veya kaplamalarda katkı maddesi olarak -Beton -Seramik -Cam (paneller arasında silika jeli veya kaplama olarak)
Nano-Ag (metal bazlı)	-Kolay temizlenebilme -Antibakteriyel özellik -UV korunumu	İç mekan yüzey kaplamaları (duvar, yer döşemesi veya vitrifiye ürünler)

Tablo 2.3 Yapıda kullanılan nano-malzemesler ve kullanım alanları (devamı)

Karbon Nanotüpler (CNT's) (karbon bazlı)	-Öz izleme -Kendi kendini onarabilme -Etkin elektron iletimi -Anti-korozyon -Yangın direnimi -Isı karşısında dayanım	-Seramik -PV paneller -Beton
Nano-clay (nanokompozit)	-Yangın direnimi	-Yüzey kaplamalarında katkı maddesi olarak
Aerojel (Nano-SiO₂ veya karbon bazlı)	-Isı izolasyonu	-İzolasyon panelleri
Nano-ZnO (nanokompozit)	- Anti-bakteriyel özellik -UV Korunumu	- Kaplamalarda katkı malzemesi -Ahşap
Nano-LDH's (Alüminyum Hidroksitler)	- Alev geciktiricilik	-Alüminyum

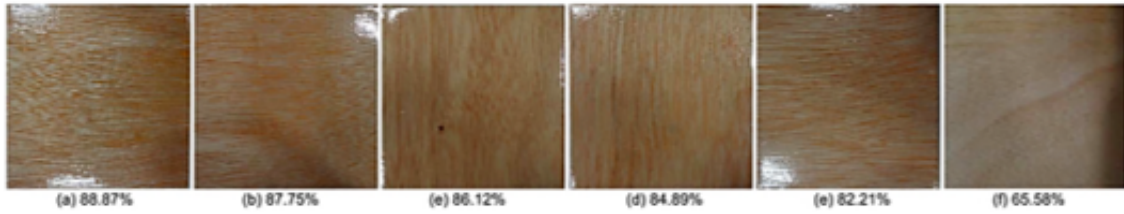
2.8 Cephelerde Kullanılan Nano-malzemenin Yangın Güvenliği Kapsamında İncelenmesi

Nano-malzemesler, yangın geciktirici kaplama veya intumesan (kabaran) özellikteki konvansiyonel malzemelere katkı olarak ilave edildiklerinde, malzemelerin yangın direnirlik özelliklerini arttırırken, performans özelliklerine de ek avantajlar getirebilmektedir. Nano-malzemesler ve yangın sırasındaki performansları hakkında ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde bilgi bulunmaması, malzemelerin yangın güvenli yapı tasarımı kapsamında denetiminin yapılmasını ve yangın sırasında neden olabileceği risklerin öngörülmesini zorlaştırmaktadır. Öte yandan, nano-malzemeslerin konvansiyonel malzemelerle birlikte kullanılmaları sonucunda malzemelerin yangın direnirlik özellikleri olan etkileri literatürdeki araştırmalar kapsamında ele alınmaktadır. Bu araştırmalar kapsamında incelenen malzemeler; Nano-TiO₂, Aerosil, Nano-SiO₂, nano-kompozitler ve Nano-LDH olarak sıralanmaktadır (Tablo 3.2).

2.8.1 Nano-SiO₂ ve Yangın Direnirlik Özellikleri

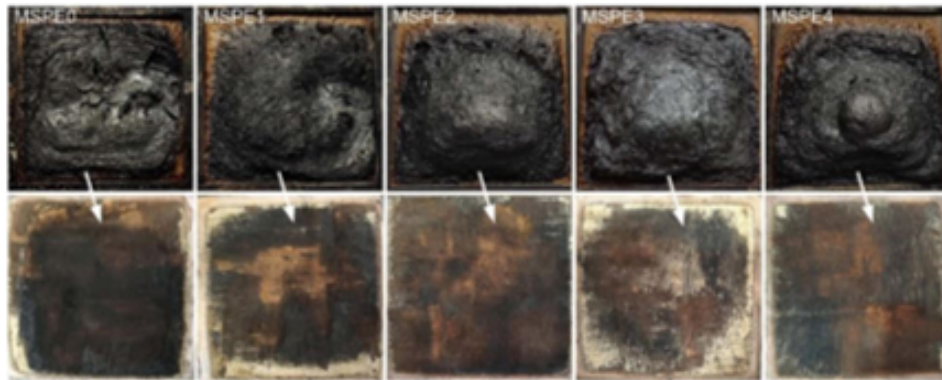
Yangın sırasında uygulandıkları yüzeyde şişir, gözenekli bir yapı oluştururak koruyan intumesan (kabaran) konvansiyonel yangın geciktirici kaplamalar, malzeme yüzeyinde opak bir görünüme neden olmaktadır. Kabarmayı sağlayan taneciklerin

kaplama malzemesinin matris reçinesiyle doğrudan etkileşimde olması nedeniyle, oluşan opak görünümün iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda Nano-SiO₂ katkı malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 2.54), [168].



Şekil 2.54 Yangın direnimli kaplamalar ve şeffaflık oranları [168]

Yan vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ahşap malzeme yüzeyi üzerine uygulanan kaplamanın yangın geciktirici özelliği deneylerle incelenmiş ve yapılan yangın testleri sırasında, kaplama yüzeyinde oluşan kömür tabakasının daha kompakt bir formda oluştuğu gözlemlenmiştir. Araştırmada; Nano-SiO₂ katkısının intumesan kaplamanın alev geciktiricilik, duman baskılama ve termal kararlılık özelliklerine olan etkileri üzerine yapılan deney sonuçları paylaşılmıştır (Şekil 2.55), (Tablo 2.4) [168].



Şekil 2.55 Isı kaynağına maruz bırakılan, kontrplak üzerine uygulanmış yangın direnimli kaplamalarda oluşan kömür kalıntıları [200]

Tablo 2.4 Yangın korunumu testi verileri [168]

Numune	Kaplamasız	MSPE0	MSPE1	MSPE2	MSPE3	MSPE4	MSPE5
Ağırlık kaybı (g)	15.5 +,- 0.6	4.1 +,- 0.4	3.2 +,- 0.3	2.9 +,- 0.3	2.7 +,- 0.2	3.0 +,- 0.2	3.8 +,- 0.3
Kömür indeksi (cm3)	33.6 +,- 0.8	11.4 +,- 0.6	8.4 +,- 0.5	6.7 +,- 0.4	5.6 +,- 0.4	7.2 +,- 0.3	9.7 +,- 0.5
Intumesan (kabarma) faktörü	0	23.8 +,- 3	38.5 +,- 4	48.8 +,- 4	56.7 +,- 5	45.4 +,- 5	35.4 +,- 4
Silika (%)	0	0	0.45	0.91	1.36	2.27	1.36

Tablo 2.4’ te belirtilen veriler değerlendirildiğinde, Nano-SiO₂ ’in şeffaf kaplama malzemelerinin yanmakta olan malzemeni yapısında oluşan ağırlık kaybını kömür indeksini önemli oranda düşürdüğü görülmektedir. Test uygulanan numunelerden MSPE3’ ün gösterdiği 56.7 5 oranındaki intümesan özellik (kabarma faktörü), düşük kömür indeksi (5.6 0.4), ve ağırlık kaybından (2.7 0.2) dolayı, diğer numulere kıyasla en yüksek yangın direnimini sağlamaktadır. Buna ek olarak, Nano-SiO₂ katkısı, çelik malzemelere uygulandığında korozyona karşı da dayanım sağlayabilmektedir. Deniz tuzu, çelik malzeme yüzeyine uygulanan amonyum polifosfat-pentaeritritol-melamin (APP-PER-MEL) kaplamaların yapısında bozulmalara neden olmaktadır. Wang vd. tarafından yürütülen bir araştırmada, tuz püskürtme testi uygulanan Nano-SiO₂ katkılı, APP-PER-MEL akrilik kaplama malzemesinin yangın sırasında gösterdiği termal izolasyon, termal ayrışma ve yangın direnir özellikleri incelenmiştir. Araştırma kapsamında kaplama numeleri üzerinde; diferansiyel termal analizler, taramalı elektron mikroskopu (SEM), yangından korunma, X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve termal iletkenlik testleri uygulanmış ve nano-SiO₂ ilave edilen APP-PER-MEL kaplamaların 500 s tuz püskürtme testinde bile yangın ve korozyona karşı dayanım sağlayarak malzeme yapısını koruduğu gözlemlenmiştir (Tablo 2.5), [169].

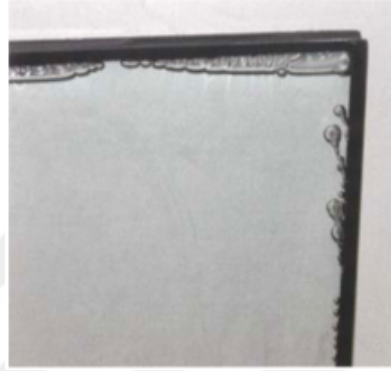
Tablo 2.5 Yangın korunumu testi verileri [169]

Numune	Kömür Tabakası Kalınlığı (mm)	Yangına Direnir Süresi (dk)
1 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	31.2	100
1 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	15.2	57
2 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	31.0	104
2 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	18.8	62
3 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	30.8	117
3 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	23.9	75
4 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	30.9	131
4 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	28.8	89

Mizutani vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, Nano-SiO₂ katkılı nano-kompozit emülsiyonlu duvar boyalarının, uçucu özellikteki organik bileşikler boyalara kıyaslandığında yüksek performans sağladığı ve çevreye duyarlı olduğu görülmüştür. Poliakrilat ve Nano-SiO₂ katkılı kaplamaların, yangın direnirini özelliğinin yanı sıra, lotus etkisi özelliği göstererek kir tutmadığı görülmüştür [170].

2.8.2 Aerosil ve Yangın Direnim Özellikleri

Cam paneller arasına 3 mm kalınlığında dolgu malzemesine katkı olarak eklenen pirojenik silisik asit nano-partikülleri (nano-silika) 1000 C'nin üzerindeki sıcaklıkta, yangın testi yapıldığı, 120 dk. boyunca yangın direnimi sağlamaktadır. Şeffaf görünümünden dolayı, dış cephede kullanıma uygun olan nano-silika katkılı cam paneller arasındaki dolgu malzemesi yangın sırasında köpürerek, ısı, duman ve alevlere karşı belirli sürelerde dayanım göstermektedir. Aerosil dolgulu cam paneller, yangın güvenli yapı tasarımı kapsamında yönetmeliklerde belirtilen yangın direnim sürelerine göre üretilebilmektedir (Şekil 2.56), [25, 171].



Şekil 2.56 Aerosil dolgulu cam panel örneği [25]

Aerosil temel olarak nanoteknoloji ile üretilmiş, cama alternatif olarak görülen yüksek yangın direnimine sahip bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yangın sırasında aktive olan aerosillerin çalışma mekanizması temelde, yangın direnimli cam paneller arasına yerleştirilen, nano ölçekte alkali silikatlar ve uygun organik katkılar çözündürülmüş sudan oluşan viskozitesi oldukça yüksek, intümesan bir çözeltiye dayanmaktadır. Yangın sırasında cam tabakalar arasındaki aerosilin içerisindeki su molekülleri buharlaşarak katmanın içerisinde basıncın artmasına neden olmaktadır. Bu sayede, malzeme intümesan özellik göstererek yangın durumunda konvansiyonel cam malzemelerde görülen patlama ve akmaları engellemekte ve tehlikeleri azaltmaktadır. Buna ek olarak, olası bir yangın durumunda aerosil alev ve duman geçişini belirli bir süre engellemekte ve radyasyon ve konveksiyon yoluyla ısıнын iletimini de engelleyebilmektedir. Ayrıca, istenilen açıklıkta üretilebilen aerosil dolgulu camların konvansiyonel camlara kıyasla daha esnek ve mekanik dayanımlarının daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. -20 °C – 60 °C aralığında kullanılabilen aerosil dolgulu camların 1000 °C sıcaklık uygulanan bir yangın testindeki çalışma mekanizması şekilde sunulmaktadır (Şekil 2.57), [171].

Buna ek olarak, aerosil dolgulu sandviç cam panel sistemleri arasında bulunan dolgu malzemesine katkı olarak ilave edilen nano-silika partiküllerinin boyutu ya da cam katmanlarının sayısı da tasarıma göre değiştirilebilmektedir. Aynı zamanda, çevreye duyarlı bir ürün olarak da gösterilen aerosil, UV ışınlarından da etkilenmemektedir [25].



Şekil 2.57 6 mm kalınlığındaki Aerosil dolgulu EI 30 (30 dk) yangın direnimli cam panelin yanma testi sırasında geçirdiği aşamalar a)1 dk, b) 20 dk c) 35 dk d) ara katmanı gösteren malzeme kesidi (cam panelin yangına karşı direnime göstermesi) [171]

2.8.3 TiO_2 ve Yangın Direnime Özellikleri

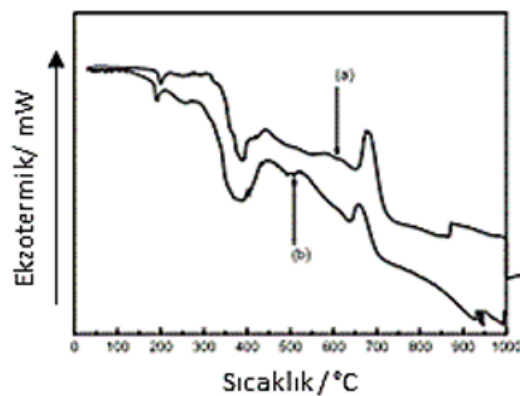
Ahşap yüzey kaplama malzemelerinin yapısına katkı malzemesi olarak eklenen Nano- TiO_2 , malzeme yapısını UV ışınlarının zararlı etkilerinden korumakla birlikte, bazı ek avantajları da beraberinde getirmektedir. Nano- TiO_2 katkı kaplamalar, UV ışınlarının ahşap malzemenin yapısında neden olduğu renk solması, lignin yıkımından kaynaklanan su ve neme karşı dayanımda azalma, biyolojik kaynaklı bozulmalar ve yangın gibi ahşaba zarar verebilecek olumsuzluklara karşı koruma sağlamaktadır [172].

Çelik malzemelerde ise, yangın nedeniyle malzeme yapısında oluşan kömür tabakası malzeme yapısında oksidatif etki göstererek korozyona neden olduğundan malzemenin yapısında bozulmalara ve performans kaybına yol açmaktadır. Belirli bir miktarda malzeme yapısında katkı olarak kullanılan Nano- TiO_2 içeriği polimer ve kaplamaların yangın direnime özelliklerini arttırabilmektedir. Bu nedenle,

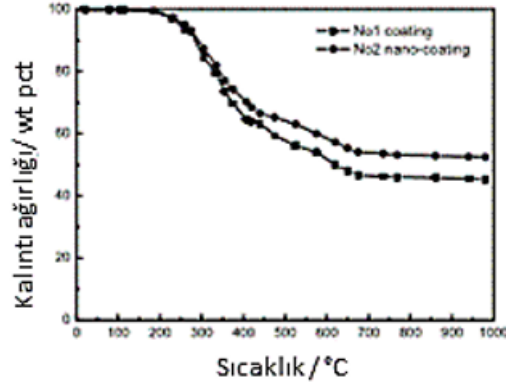
Wang vd. tarafından yürütülen bir çalışmada, çelik malzemelerin yüzeyine uygulanan akrilik polimer içerikli kaplamaların malzeme üzerinde sağladıkları düşük yangın direnir özelliklerinin artırılması amacıyla Nano-TiO₂ ile olan etkileşimi incelenmiştir. Çalışmada, yapısal çelik malzemelerde koruma amaçlı uygulanan amonyum polifosfat-pentaeritritol-melamin (APP-PER-MEL) içerikli kaplamaların oksitlenme nedeniyle çelik malzeme yüzeyinden kolayca ayrıldığı ifade edilmektedir. Bu nedenle, APP-PER-MEL içerikli kaplamaların Nano-TiO₂ katkısı ile modifiye edilerek, yangın sırasında kaplamanın yapısında oluşan kömür tabakasının çeliğin yapısında neden olabileceği oksidasyonun önlenmesi, malzemenin ısıl dayanımının ve yangın direnir özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır [173].

Araştırma kapsamında, Nano-TiO₂ nano partiküllerinin hiper dağıtıcı ile modifiye edilerek, kaplama ve akrilik polimer içerisinde iyi bir dağılım sağlayabildiği belirtilmektedir. % 2 oranındaki nano-TiO₂ katkısının, akrilik polimerin termal kararlılığını önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Nano-TiO₂ katkısı malzemeye % 1.6 oranında eklendiğinde ise, malzemenin endotermik etkisini, yangın direnir özelliklerini arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda, nano ölçekte seramik benzeri bir davranış göstererek malzeme yüzeyini kömür tabakasının neden olduğu oksidasyona karşı koruyabildiği sonucuna da ulaşılmıştır [173].

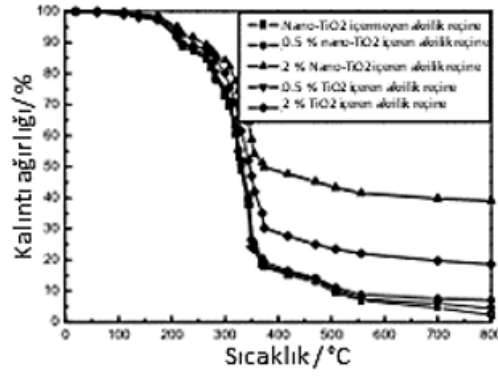
Araştırmada, Nano-TiO₂ partiküllerinin dağılımı geçirirli elektron mikroskopu (TEM) ve Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (FT-IR) kullanılarak incelenmiş ve kaplamaların yangın direnir özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, diferansiyel termal analizler (DTA) ve termal gravimetre (TG) analizleri yapılmıştır (Şekil 2.58, 2.59, 2.60), [173].



Şekil 2.58 DTA eğrileri a) akrilik polimer kaplama, b) Nano-TiO₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama [173]

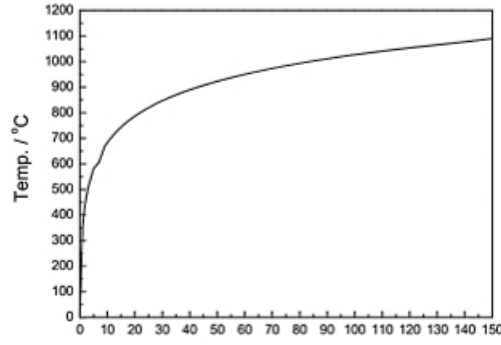


Şekil 2.59 TG eğrileri a) akrilik polimer kaplama, b) Nano-TiO₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama [173]



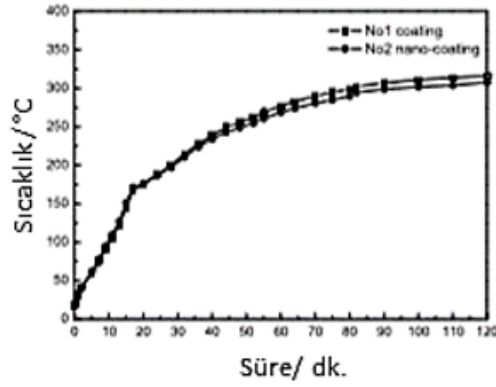
Şekil 2.60 TG eğrileri Çeşitli oranlarda TiO₂ veya nano-TiO₂ ilave edilmiş kaplamalar [173]

Buna ek olarak, kaplamaların zamana bağlı yangın direnim özelliklerinin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilen yangın direnim süresi testinde, kaplamaların yangın direnim ve ısı izolasyonu özellikleri incelenmiştir. Deney sırasında, kaplamaların uygulandığı metal plakaların arkasına üç ayrı termo çift yerleştirilmiş ve ISO 834 eğrisi temel alınarak plakaların arkasındaki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Test plakasının arkasındaki sıcaklık değerinin 300 °C olarak ölçümlendiği an ise, ISO 834 eğrisinde yangın direnimli zaman olarak belirtilmiştir (Şekil 2.61), [174].



Şekil 2.61 Yangın korunumu testi verileri [174]

Ayrıca, nano-TiO₂ geleneksel APP-PER-MEL kaplamaların malzemelerin yapısında neden olduğu hızlandırılmış yıpranma etkisini, sağladığı UV korunumu özelliği sayesinde, önemli ölçüde önlemektedir (Şekil 2.62), [174].



Şekil 2.62 Yangın direnimi eğrileri a) Akrilik polimer kaplama , b) Nano-TiO₂ katkılı akrilik polimer nano-kaplama

2.8.4 Nano-LDH'ler ve Yangın Direnim Özellikleri

Çelik yapılarda yangın direnimi amacıyla kullanılan amonyum polifosfat-pentaeritritol- melamin (APP-PER-MEL) kaplamalara ilave edilen Nano-LDH (nano boyutlu çift hidroksitler) ve Nano-TiO₂ katkı malzemelerinin yıpranma karşıtı koruma ve yangın direnimi sağladığı gözlemlenmiştir. Eklenen nano boyuttaki katkı maddelerinin yangın direnimi ve yıpranma-karşıtı özellikleri; X-ray kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), termogravimetre (TG), diferansiyel termal analizler (DTA) ve yangın korunum testleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan TG ve DTA analizleri sonucunda, Nano-LDH malzemelerin 310-430 °C aralığında termal bozunma sıcaklığının, APP-PER-MEL kaplamaların 300-440 °C sıcaklık aralığında kömür tabakası oluşturmaya katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Tablo 2.6), [174].

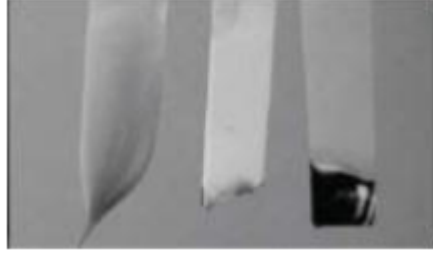
Tablo 2.6 Yangın korunumu test verileri [174]

Numune	Kömür Tabakası Kalınlığı (mm)	Yangına Direnim Süresi (dk)	Malzemenin Arka Yüzey Sıcaklığı (Co)
Nano katkısız (yıpranma işlemi öncesi)	32.5	120	301
Nano katkısız kaplama (yıpratma işlemi sonrası)	9.7	49	384
Nano-LDH ve Nano-TiO ₂ katkılı kaplama (yıpratma işlemi sonrası)	30.2	105	310

2.8.5 Nano-Kompozitler ve Yangın Direnim Özellikleri

Nano-kompozitler, sentetik katmanlı silikatlar ve doğal kilden oluşan tane dolgulu yapıya sahip, yapısında dağılan taneciklerin de en az bir boyutunun nano ölçekte olduğu, polimer bazlı kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Polimer nano-kompozit malzemeler, dolgu malzemesinin sahip olduğu yüksek en-boy oranı ve matris içerisinde nano boyutta dağılmasından dolayı saf polimer ve kompozit malzemelere kazandırdığı fiziksel, ısı, mekanik, ve bariyer özellikler açısından önemli avantajlara sahip olmaktadır [173]. Polimer malzemeler içeriğinde bulunan karbon (C) ve oksijen (O) atomlarından dolayı yanıcı özelliği yüksek malzemeler olarak görülmektedir. Yapılan bir araştırmada, polimer nano-kompozitlerin yangın direnim özellikleri ele alınmış ve nispeten daha az miktarda malzemenin yapısına katkı maddesi olarak ilave edilen nano-kil (nano-clay) malzemesinin, polimer malzemenin (araştırma kapsamında etilen vinil asetat/ EVA numunesi incelenmiştir) yanması sırasında malzeme yapısını koruyucu bir tabaka oluşturduğu gözlemlenmiştir [175].

Alev geciktirici özellikteki nano-kompozit malzemeler üretilirken genellikle, doğada bulunan veya doğadan sentezlenen katmanlı silikatlar kullanılmaktadır. Yanan malzemenin yapısında meydana gelen piroliz tepkimesi sırasında, nano-kompozit yapılarının çökmesi sonucunda ortaya çıkan karbonlu-silikat yapı, yüzeyde yüksek performanslı bir karbonlu silikat kömür tabakası oluşturarak, ısının polimer yüzeyine ulaşmasını engellemektedir. Buna ek olarak, malzeme yüzeyinde termal bir bariyer oluşturup, gaz fazındaki yanma ürünlerinin difüzyonunu engelleyerek malzemenin yangın direnim özelliğine de katkı sağlamaktadır (Şekil 2.63), [175].



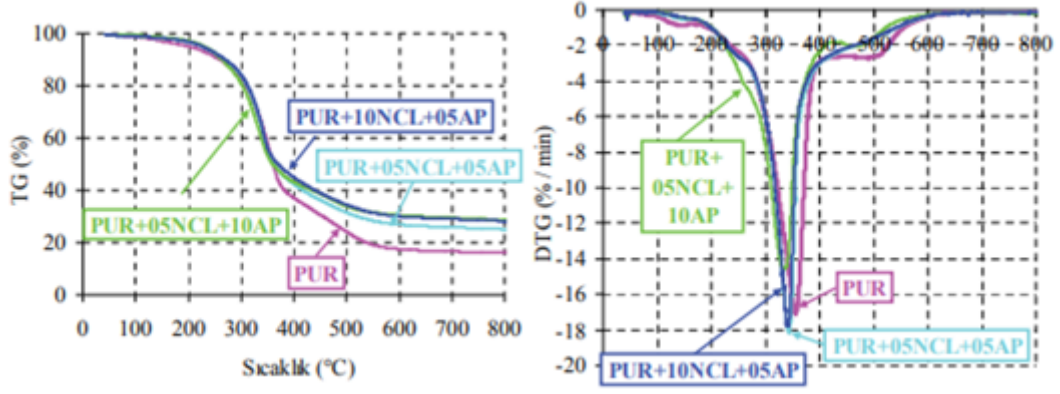
Şekil 2.63 Nano-kompozit içerikli filmlerin yanmasına ilişkin bir deney [175]

Rijit poliüretan köpük (PUR) malzemelere performans özelliklerini arttırmak ve maliyetlerini düşürmek amacıyla çeşitli inorganik katkı malzemeleri eklenebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, rijit poliüretan köpük malzeme üzerinde nano-kilin katkı malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışmada, rijit poliüretan (PUR) köpük malzemenin yapısına yaklaşık olarak % 15 oranında nano-kil ve intümesan özellik gösteren amonyum polifosfat/pentaeritritol (APP-PER) eklenmiştir. Dolgu poliüretan malzemenin ısı iletim katsayısı, hücre boyutu, yanmaya ve ısıl bozunmaya karşı direnir özellikleri analiz edilmiştir. Dolgu poliüretan malzemenin ısı iletim katsayısı, hücre boyutu, yanmaya ve ısıl bozunmaya karşı direnir özellikleri analiz edilmiştir. Belirtilen araştırma konularının test edilmesinde; termogravimetrik analiz, ısı iletim katsayısı ölçümü (ASTM C 1113 standardı kapsamında), UL 94 H deneyi (köpük malzemenin yanma davranışının test edilmesinde) ve hücre boyutu incelemeleri (ASTM D3576-04 standardı kapsamında) yapılmıştır (Tablo 2.7) [176].

Tablo 2.7 Köpük malzeme numulerinin termogravimetrik analizleri [176]

Numune	T5WT % (°C)	T10WT % (°C)	T50WT % (°C)	T1max (°C) R1max (%/min)	T2max (°C) R2max (%/min)	T3max (°C) R3max (%/min)	800 °C'de kalan kütle (%)
PUR	201,7	260,1	360,4	143,3 -0,82	357,8 -16,91	497,5 -2,65	16,0
PUR+ 05NCL	218,5	268,6	371,4	152,4 -0,70	362,0 -14,98	507,3 -3,00	20,5
PUR+ 10NCL	226,2	276,2	381,7	155,9 -0,64	362,5 -13,37	508,7 -3,10	24,6
PUR+ 15NCL	233,3	281,6	393,8	156,1 -0,41	362,5 -12,52	507,5 -3,04	27,8
PUR+ 05AP	204,9	258,7	347,9	145,3 -0,77	334,0 -17,43	509,1 -1,30	22,6
PUR+ 10AP	211,7	257,8	342,4	145,2 -0,67	325,5 -16,99	469,0 -2,07	23,1
PUR+ 15AP	214,3	256,3	343,2	144,2 -0,61	328,8 -13,92	466,7 -2,16	25,8
PUR+ 05NCL+ 05AP	227,0	269,4	361,3	157,2 -0,780	345,3 -18,09	515,1 -1,41	25,1
PUR+ 05NCL+ 10AP	230,6	264,2	360,2	161,4 -0,58	331,5 -14,46	486,8 -1,87	28,6
PUR+ 10NCL+ 05AP	227,0	269,8	370,0	157,5 -0,45	343,8 -17,52	516,9 -1,36	28,3

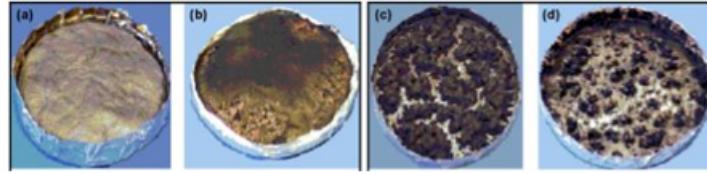
Deneyler sonucunda elde edilen veriler, poliüretan malzemenin yapısına yaklaşık olarak % 15 oranında ilave edilen nano-kil ve amonyum polifosfat/pentaeritritol katkı malzemelerinin, poliüretan köpük malzemenin yanma ve ısıl bozunmaya karşı direncini arttırdığını göstermiştir. Diğer taraftan, poliüretan köpük malzemenin yapısına eklenen, nano kil ve intümesan katkı malzemelerinin, köpük malzemenin ısı iletim katsayısını bir miktar arttırdığı da ifade edilmiştir. Malzemenin ısı iletim katsayısındaki artışın ilk elli günle sınırlı kaldığı ve elli günlük sürenin sonunda ise, malzemenin ısı iletim katsayısındaki artışın önemli oranda azaldığı belirtilmiştir (Şekil 2.64), [176].



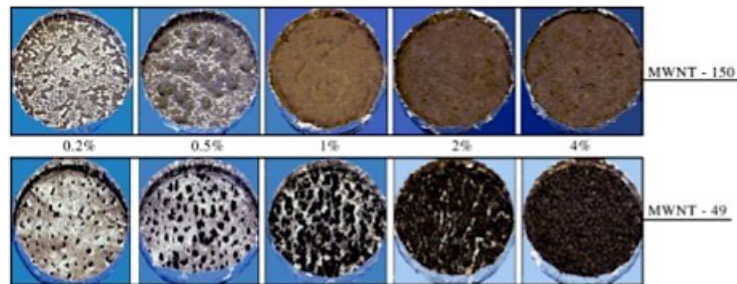
Şekil 2.64 PUR ve NCL/AP katkılı PUR köpük malzemelerin DTG ve TG çizelgeleri [176]

2.8.6 CNT'ler ve Yangın Direnim Özellikleri

Karbon nanotüpler (CNT's) ise, tek tabakalı grafen nano-malzemesinin yuvarlanmasıyla elde edilmekte ve polimer malzemelerin yangın direnimi açısından en etkin nano-lifli malzeme olarak yorumlanmaktadır. Boyutlarına göre; 1-2 nm boyutundaki tek duvarlı (SWCNT) ve 10-100 nm boyutunda çok duvarlı (MWCNT) olmak üzere iki türü bulunan CNT'lerin, malzeme içerisindeki dağılımlarına göre yangın sırasındaki performans özellikleri farklılık gösterebilmektedir. CNT'ler ve nano-killer hibrit bir kompozit yapı olarak birlikte kullanıldığında ise, çok daha yoğun ağ yapısı oluşturabilmekte ve yanmakta olan malzemenin yüzeyinde kömür tabakası oluşumunu desteklemektedir (Şekil 2.65, Şekil 2.66), [177].



Şekil 2.65 CNT'lerin PMMA/0.5 wt % SWNT üzerinde azot (N) kullanılarak yapılan gazlaştırma deneyinde dağılım etkileri [177]



Şekil 2.66 Gazlaştırma deneyi sonucunda, MWNT tabanlı nano-kompozitlerden PS/MWNT elde edilen kalıntılar [177]

Kompozitlerde katkı maddeleri olarak farklı nanometrik malzemelerin kullanımı, malzemelerin sahip olduğu farklı morfolojik özellikler sayesinde, yangın geciktiriciliğine katkı sağlamaktadır. Yangın sırasında intumesan özellikteki malzemeler ile nano-silikat yüzeyi arasında gerçekleşen tepkimelerin karbonik bir kömür tabakası oluşturmaları, malzemenin yanıcılık özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde olumlu etkiye neden olmaktadır [177].

Literatürde nano-malzemelerin konvansiyonel malzemelerin yangın direnir özelliklerine olan etkileri üzerine yapılmış çalışmalar incelendiğinde: nano-SiO₂, nano-TiO₂, karbon nanotüpler (CNT's), nano-clay ve nano-LDH malzemelerinin konvansiyonel malzemelerin yangın direnir özelliklerine olumlu katkı sağladığı gözlemlenmektedir.

Yapılan araştırmalarda, konvansiyonel yapı malzemelerine kaplama yoluyla ya da katkı maddesi olarak ilave edilen nano-malzemelerin yangın direnir özellikleri, yapı malzemeleri ile ilgili standart ve yönetmeliklerde standart test metotları kapsamında incelenmiştir. 2015 yılında, Aydoğan vd. tarafından yürütölen bir çalışmada, dolgu/ alev geciktirici nano-malzemelerin, özellikle köpük malzemelerin yangın direnir özelliklerine etkisi hakkında yeterli çalışma yapılmadığı, nano-malzemelerin yapıdaki kullanım oranları arttıkça çalışmaların ilerleme kaydettiğı belirtilmektedir [176]. Nano-malzemelerin konvansiyonel malzemelere göre yeni bir malzeme türü olması nedeniyle ölkelerin standart ve yönetmeliklerinde yer alması için belirli bir süre ve maliyet gerekmektedir. Bu nedenle malzemelerin; ilgili standart ve yönetmelikler kapsamında yeterince denetlenmeden piyasa sürölmesi, nano-malzemelerin kullanıldığı yapılarda yangın risklerinin ön görölmemesine veya yangın güvenli yapı tasarımına katkı sağlayabilecek farklı özellikteki nano-malzemelerin sınırlandırılmasına yol açmaktadır.

3

CEPHE MALZEMELERİNDE YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDART VE YÖNETMELİKLER KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülkelerin yapı ve yangın güvenliği ile ilgili olan standart ve yönetmeliklerinde yangın riskinin en az seviyeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda standart ve yönetmelikler, yapıda yangın güvenliği çerçevesinde, uygun ve etkin önlemlerin hangi ölçütler doğrultusunda alınması gerektiği hakkında; tasarımcılara, uygulayıcılara ve üreticilere yol göstermektedir. Özellikle, yapı elemanları ve yapı malzemeleri pasif yangın güvenliği konusunda kritik bir öneme sahip olduğundan bu standart ve yönetmeliklerde geniş bir yer kaplamaktadır [178]. Yangın güvenliği konusunda 19. yüzyıldan itibaren A.B.D ve Avrupa ülkelerinde çeşitli standart ve düzenlemeler yapılmakta ve belirli periyotlarla güncellenmektedir [179]. Yapılan standart ve yasal düzenlemelerin yapılarda uygulanması ve bu uygulamaların denetlenmesi yetkili kurum ve kuruluşlarca zorunlu tutulmaktadır. Yönetmeliklerde yer alan esaslar ülkelere göre değişiklik göstermekte ve uygulanması gereken en alt seviyedeki güvenlik önlemleri ele alınmaktadır.

Öte yandan, teknolojinin ilerlemesine paralel olarak güncellenmeyen, yanıcı özellikteki malzemelerin kullanımı ile ilgili boşluklar bulunan ve denetim mekanizmasının gelişmemiş olan yönetmeliklerin uygulandığı ülkelerde cephelerde kolay tutuşabilir malzemelerin seçimine ortam hazırlamakta ve özellikle yüksek katlı yapılarda meydana gelen yangın olayları felaketle sonuçlanabilmektedir.

3.1 Türkiye Cumhuriyeti Yangın Yönetmeliği (BYKHY)

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) yangına tepkiyi, bir sistem veya malzemenin, özellikle can kaybını önlemek amacıyla binada bulunanların tahliyesi için kritik öneme sahip olan; yangının çıkış anı, gelişme evresi ve yayılmasına katkısını ölçen ögeler

olarak tanımlamaktadır [180]. Türkiye’de binalarda yangın güvenliği hakkındaki ilk yasal düzenleme, Bakanlar Kurulu kararı ile 2002 yılında yürürlüğe giren ve 2007 yılında uyulması zorunlu hale getirilen Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’ tir. Aktif ve pasif yangın güvenlik önlemlerini ele alan yönetmelik, günümüze kadar pek çok değişikliğe uğramıştır [27].

Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıfları, yönetmelikte bulunan ve TS EN 13501-1 ve TS EN 13501-5’ e standartları ve kapsadıkları Avrupa ölçütlerine göre düzenlenmiş olan Ek-2/A ve Ek-2/Ç’ bölümlerinde bulunmaktadır. Bu eklerdeki ölçütler, malzemeler yanıcılık sınıfı, duman oluşumu, yanma damlaları ve taneciklenme özelliklerine göre üç bölümde ele alınmaktadır. Yönetmeliğin 3. Bölüm’ ünde yangın kompartımanları, duvarlar, döşemeler, cepheler ve çatılar ele alınmaktadır. Cephelerle ilgili olan bölümde ise, yangın güvenli cephe tasarımı ve cephede kullanılacak olan malzemelerin yanıcılık sınıfları ve yangın direnir özellikleri belirtilmektedir [27].

Cephelerde yangın güvenlik önlemleri; bina yükseliğı esas alınarak, dış cepheler, geleneksel cephe sistemleri ve giydirme cephe sistemleri olmak üzere 3 ana başlıkta değerlendirilmektedir. Buna göre, 28.50 m’ den yüksek olan binaların dış cephelerinde zor yanıcı malzemelerin; diğer binalarda ise, en az zor alevlenici malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, alevlerin bir kattan diğerine geçmesini engellemek amacıyla, iki katın pencere gibi korumasız olan boşluklarının arasında, düşey ekseninde en az 100 cm yüksekliğinde yangına dayanıklı cephe elemanlarıyla dolu yüzeylerin oluşturulması zorunlu tutulmaktadır [27].

Geleneksel cephe sistemlerinde ise, ısı yalıtımıyla ilgili gereçlerin (sıva, sıva filesi, dübel, ısı yalıtım yapıştırıcısı, ısı yalıtım malzemesi vb.) sistem ve ilgili standartlar kapsamında akredite edilmiş bir laboratuvar tarafından sertifikalandırılmış gerekli görülmektedir. Dış cephesi zor alevlenici malzeme veya sistemden oluşturulmuş 28.50 m’den daha az yükseklikteki binalarda tabii ya da tesviye edilmiş zemin kotunun üzerindeki 1.5 m aralıkta hiç yanmaz A1 sınıfı malzeme kullanımı önerilmektedir. Bitişik nizamda bulunan farklı yükseklikteki binalarda ise alçakta olan binanın çatı seviyesinden itibaren yüksek bina katının hiç yanmaz malzeme veya sistem ile kaplanması gerektiğı belirtilmektedir. Giydirme cephe sistemlerinde ise, binaların cephesinde kullanılan derzlerin açık veya havalandırılmalı olma durumuna göre kullanılacak olan cephe ve yalıtım malzemelerinin en az zor yanıcı özellikte olması gerekli görülmektedir (Tablo 3.1), [27].

Tablo 3.1 BYKHY Gereğince Cephe Türlerine Göre Kullanılması Gereken Malzemeler [27]

Cephe Türleri	BYKHY Gereğince Cephe Türlerine Göre Kullanılması Gereken Malzemeler
Bina yüksekliği 28.50 m'den fazla olan bina dış cepheleri	-En az zor yanıcı özellikte malzemeler (A2- s1,d0)
Bina yüksekliği 28.50 m'den az olan bina dış cepheleri	-En az zor alevlenici özellikte malzemeler (A2, B, C- s3, d2)
Geleneksel cephe sistemleri	- Dış cephesi zor alevlenici malzeme (A2, B, C- s3, d2) veya sistemden oluşturulmuş yüksekliği 28.50 m'den az olan binalarda tabii ya da tesviye zemin kotunun üzerindeki 1.5 m ve üst kenarlarına en az 30 cm eninde hiç yanmaz malzeme (A1) ile yangın bariyerleri - Bitişik nizamda bulunan farklı yükseklikteki binalarda ise alçakta olan binanın çatı seviyesinden itibaren yüksek bina katının hiç yanmaz malzeme veya sistem (A1)
Giydirme cephe sistemleri	- En az zor yanıcı özellikte cephe ve yalıtım malzemeleri (A2- s1,d0)

Ayrıca, yüksekliği 6.50 m'den fazla olan binaların pencere ve benzeri boşluklarının yan kenarlarına en az 15 cm ve üst kenarlarına en az 30 cm eninde hiç yanmaz malzeme ile yangın bariyeri oluşturulmasının gerekli olduğu ifade edilmektedir. Bitişik nizamda bulunan farklı yükseklikteki binalarda ise alçakta olan binanın çatı seviyesinden itibaren yüksek bina katının hiç yanmaz malzeme ya da sistem ile kaplanması gerekmektedir. Giydirme cephe sistemlerinde ise, binaların cephesinde kullanılan derzlerin açık ya da havalandırılmalı olma durumuna göre kullanıcak olan cephe ve yalıtım malzemelerinin en az zor yanıcı özellikte olması gerekli görülmektedir [27].

3.2 İngiltere Yönetmeliği (BS-9999, 2017)

Birleşik Krallık Hükûmeti (HM Government) tarafından yayınlanan BS 9999- 2017 gereğince yapıda kullanılan malzemeler ve bitirme ürünleri;

- Tutuşma kolaylığı,
- Yanma sırasında açığa çıkardığı ısı oranı,
- Yüzeyde alev yayma oranı ve

- Toplam potansiyel ısı yayma miktarına göre değerlendirilmektedir [30].

Yapıda kullanılan bir elemanın yangın sırasında gösterdiği performansı, kullanılan malzemenin;

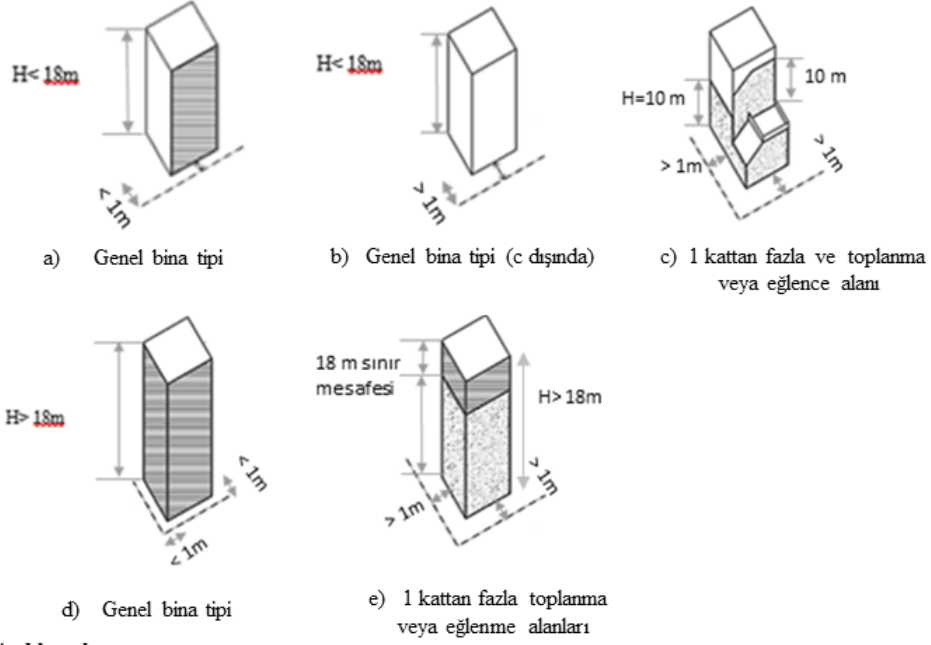
- Kalınlık,
- Yönü,
- Sınır koşulları ve
- Yangının karakteristik özelliklerine bağlı olmaktadır [30].

Performansa yönelik olarak hazırlanmış olan Approved Document B kapsamında, yapı ve yapı malzemelerinin yanmazlık sınıfının belirlenmesi ve 0 Class (0 sınıfı) olarak değerlendirilebilmesi için BS 476-4 test standardını sağlaması gerekmektedir. Malzeme sınırlı yanıcılık özelliğine sahip ise, yapı malzemelerinin yangın sırasındaki ısı emisyonunun değerlendirilmesi amacıyla, BS 476-11 test koşullarını geçmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, Approved Document B kapsamında cephe sistemlerinin yangın güvenliğini denetlemek amacıyla, BS 8414-1 ve BS 8414-2 test standartlarının kullanımının gerekliliği yer almaktadır. Bu sayede, cephe sistemlerinin oluşturan bileşenlerin yangın sırasındaki davranışları belirlenebilmektedir [30].

Yapılarda yangın güvenliğini konut ve konut dışındaki yapılarda yangın güvenliği olmak üzere iki bölümde ele alınmaktadır. Yönetmelikte cephelerin yangın sırasında alevlerin yayılmasına ortam sağlamayacak şekilde düzenlenmesi gerekliliği üzerinde durulmaktadır. Özellikle, yüksek yapıların cephelerinde kolay tutuşabilir malzemelerin kullanılmasının ve şaftların oluşturulmasının yangın sırasında alevlerin yayılmasına ortam hazırlanmasının, can güvenliği açısından risk oluşturduğu belirtilmektedir. Cephelerde yangının yayılmasını ve bir binadan diğerine sıçramasını önlemek amacıyla malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken etmenler;

- Yapı yükseliği,
- Yapının kullanım amacı ve
- Yapının konumu olarak sıralanmaktadır [30].

Örneğin, 18 m ve daha çok katlı bir yapının cephesinde kullanılacak olan bir yalıtım ve dolgu malzemesinin sınırlı yanıcılıkta veya hiç yanmaz özellikte olması gerekmektedir (Şekil 3.1).



Açıklamalar:

- ☐ Belirtilen sınırlarla ilgili bir hüküm bulunmamaktadır.
- ☒ Ulusal sınıflandırmada Index (I) ve BS 476-6' göre 20'den fazla olmaması ve Avrupa sınıflandırmasına göre C-s3, d2 daha üst sınıfları olması gerekmektedir. Buna ek olarak, en az 9 mm kalınlığında olmak şartıyla, ahşap kaplama kabul edilmektedir.
- ☒ Ulusal sınıflandırmaya göre, yangınlık sınıfı 0 ya da Avrupa sınıflandırmasına göre B-s3, d2 daha üst sınıfları gerektirmektedir. Ayrıca, 0.2 mm'den daha kalın olmayan organik izolasyon malzemeli, 0.5 mm'den daha kalın profilli ya da yassı çelik kaplama malzemelerine izin verilmektedir. (s3 ve d2 malzemelerden yangın sırasında açığa çıkan; duman, yanma damlacıkları ve partikülleri hakkında bir limit olmadığı anlamına gelmektedir.)

Şekil 3.1 Yönetmelik kapsamında cephe malzemelerinin yangın güvenlik önlemleri doğrultusunda seçimi [30]

3.3 Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D) Yönetmeliği (NFPA 5000)

Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1899 yılında kurulan ulusal yangın önleme derneği olarak kurulan National Fire Protection Association (NFPA) günümüzde;

- Yangın güvenliği konusunda pekçok ülkenin standart ve yönetmeliklerinde kaynak olarak gösterilen,
- Uyulması zorunlu standartları oluşturan,
- Yayınlayan ve
- Denetleyen bir kuruluş olarak çalışmalarını sürdürmektedir [29].

NFPA tarafından yayınlanmış, ulusal bina kodu olan NFPA 5000 Building Construction

and Safety Code ise, bina yapım ve güvenlik yönetmeliğini içermekle birlikte, cephe malzemeleri ve yangın güvenliği konusunu da detaylı olarak ele almaktadır.

NFPA 5000' de cephelerde yangın güvenliği kapsamında değerlendirilmesinde, Amerika Birleşik Devletleri' nde kullanılan ve uluslararası bir diğer bina kodu olan, International Building Code (IBC) içerisinde yer alan binaların sınıflandırması metodundan yararlanılmaktadır. IBC' ye göre, binalar 5 farklı yapım tipine (tip I-V) göre sınıflandırılmaktadır, buna göre:

- **Tip I:** Yangın direnimli yapıları kapsamaktadır. Yapı elamanları yangının olası etkilerine karşı direnim gösteren ve dış duvarlarda ise 2-3 saat arasında yangın direncine sahip olan,
- **Tip II:** Yeni ve ticari yapıları kapsamaktadır. Duvar ve çatılarda yanmaz malzeme kullanımı istenmekle birlikte Tip 1 kadar yangın yayıcılık ve yangına karşı direnim konularında yüksek performans göstermeyen,
- **Tip III:** Dış duvarlarda yanıcı olmayan ve en az 2 saat yangın direnimi gösteren malzeme kullanılırken iç mekânda ise, malzeme seçimi serbest olup yangına 2 saat veya daha az direnimli ahşap çerçeve kullanılabilen,
- **Tip IV:** Dış duvarların yanmaz malzemeden, iç mekânda ise boşluksuz masif veya lamine ahşap kullanıldığı,
- **Tip V:** Duvar, döşeme ve çatıların bir bölümünün veya tamamının ahşap olduğu yapı türü olarak tanımlanmaktadır [31].

NFPA' de cephelerde kullanılan malzemeler;

- Plastik esaslı köpük yalıtım malzemeleri,
- Metal kompozit paneller ve
- Işık ileten plastik paneller olarak ele alınmaktadır [30].
- Buna ek olarak, konvansiyonel yapı malzemeleri (beton, çelik, alüminyum, ahşap, plastik, cam, alçı) ise ayrı başlıklar altında değerlendirilerek, cephelerde kaplama malzemesi olarak kullanılmaları halinde yangın güvenliği kapsamında sağlanması gereken koşullar da bu başlıklar altında belirtilmektedir.

NFPA kapsamında, tip; I, II, III ve IV sınıfında yer alan ve 12. 192 mm'den yüksek olan binaların yük taşımayan duvarlarında kullanılacak olan cephe kaplama malzemelerinin, Tablo 3.5' te aksi belirtilmediği sürece, NFPA 285 koşullarını sağlaması gerekmektedir. Tablo 3.5' te yük taşımayan dış duvarlara uygulanacak kaplama malzemelerinin (yığma (tuğla dahil), beton, taş, stüko, terra kotta, korozyona dayanımlı çelik) sahip olması gereken en ince kalınlık değerleri (mm) yer almaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Dış cephe kaplamalarının sahip olması gereken en ince kalınlık değerleri
[29]

Kaplama Türü	En İnce Kalınlık
Yığma	-
-ankrajlı (ve tuğlalı)	50.8
-yapıştırma	6.4
Çelik (korozyon direnimli)	30.8
Taş	-
-yapay döküm, ankrajlı	38.1
-doğal, yapıştırma	50.8
Stüko ve dış cephe çimento sıvası (doku hariç)	-
üç kat uygulama	-
-metal sıva tabanı	22.2
-modüler yığma	15.9
-yerinde döküm veya prekast beton	15.9
iki kat uygulama	-
-modüler yığma	12.7
-yerinde döküm veya prekast beton	9.5
Terrakotta (pişmiş toprak)	-
-ankrajlı	25.4
-yapıştırma	6.4

Plastik esaslı Köpük Yalıtım Malzemelerinin Cephelerde Kullanımı: NFPA 5000 kapsamında, cephelerde kullanılacak olan yalıtım malzemelerinden, farklı test metotları altında, belirli koşulların sağlanması beklenmektedir. Yönetmelikte tip I- IV arasında yer alan yapılarda kullanılacak olan, plastik esaslı köpük yalıtım malzemeleri

ve bileşenlerinin yanıcılık özelliklerinin UL 723 (Standard for Test of Surface Burning Characteristics of Building Materials) ya da ASTM E84 (Standard Test Method of Surface Burning Characteristics of Building Materials) standart test metotları altında incelenmesi gerekli görülmektedir.

Yönetmelikte belirtilen ölçütler doğrultusunda, malzeme yüzeylerinin sahip olduğu alev yayılımı indeksinin en fazla 25, duman gelişimi indeksinin ise en fazla 450 olması beklenmektedir. Aynı zamanda, plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin alevlenme noktaları ve kendiliğinden tutuşma sıcaklıklarının ASTM D1929 (Standard Test Method for Determining Ignition Temperature of Plastic) gereğince 316 C ve 427 C' den düşük olmaması gerekmektedir [30].

Ayrıca, plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin, yapının içi ve asma tavan boşluklarıyla olan temasını engellemek amacıyla, NFPA 275 gereğince 15 dk. boyunca plastik esaslı köpük yalıtım malzemesi ile birlikte test edildiğinde, uygun ısı iletimi değerlerini karşılayan, ısı bariyerleri (13 mm kalınlığında alçı levhaların kullanılabileceği belirtilmektedir.) ile kullanımı uygun bulunmaktadır. Ancak, betonarme veya kâgir yapılarda kullanılan plastik esaslı köpük malzemelerin iki yüzeyden de 25 mm kalınlıktaki beton veya taş ile kaplandığı durumlarda bu koşul aranmamaktadır. Dış duvarların NFPA 268' göre test edildiklerinde sürekli alevlenme göstermemesi gerekmektedir. Ancak bu koşul dış yüzeyler, kalınlık olarak en az 9,5 mm cam elyaf takviyeli beton paneller, 22 mm Portland çimento sıvası, 25 mm beton veya taş 0,48 mm alüminyum veya 0,44 mm korozyona dayanıklı çelik levhalarla kaplandığında geçerli olmamaktadır [30].

Metal Kompozit Panellerin Dış Cephelerde Kullanımı: Yönetmelikte metal kompozit panellerle ilgili olarak, tip I-IV arasında yer alan yapı tiplerinin dış duvarlarına monte edildiğinde metal kompozit panellerin sahip olması gereken en az iç yüzey kalınlığının 0.25 mm, dış yüzey kalınlığının 0.5 mm ve toplam panel kalınlığının ise en fazla 6.3 mm olması gerekmektedir. NFPA 285 deney standardı kapsamında değerlendirilen metal kompozit malzemeler, dış cephelerde bina yüksekliğine göre farklı koşullar gerektirmektedir [29].

Yüksekliği 12 m' ye kadar olan binalar: Yatay düzlemde binalar arasındaki uzaklık 1525 mm' den kısaysa, dış cephe kaplama malzemesi dış duvarın en fazla % 10'luk bir bölümünü kaplamalıdır. Binalar arası uzaklık 1525 mm' den daha uzun ise, malzemenin kapladığı alan ile ilgili bir kısıtlama bulunmamaktadır [29].

Yüksekliği 15 m' ye kadar olan binalar: Dikey düzlemde birbirine temas eden kaplama panellerinin uzunluğunun 1220 mm' den kısa olmaması ve alanlarının 27.8 m' yi aşmaması gerekmektedir. Ayrıca, UL 723 ve ASTM E84 test metotları

kapsamında B sınıfı yanıcılık özellikleri göstererek, alev yayılımı indeksinin en fazla 75, duman gelişim indeksinin ise en fazla 450 olması beklenmektedir. Metal kompozit malzemelerin en düşük kendiliğinden tutuşma derecesi ise 343 °C olarak belirtilmektedir. Tip I-IV arasında yer alan binaların dış cephelerinde kullanılacak olan metal kompozit malzemelerin özelliklerine ek olarak, sınıflandırmada tip V 'te yer alan binaların tümünde B sınıfı yanıcılık özelliklerinin olması gerekli görülmektedir [29].

Işık İleten Plastik Panellerin Cephelerde Kullanımı: Yönetmelikte ışık ileten plastik panellerle ilgili olarak, malzemeler ASTM D1929 test metoduna göre test edildiğinde, kendi kendine tutuşma sıcaklığının 343 °C' yi aşmaması gerektiği belirtilmektedir. Buna ek olarak, UL 723 ve ASTM E84 test metotları kapsamında duman gelişimi indeksinin 450' den az olması veya ASTM D2843 (Standard Test for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics) standardı uyarınca kullanımı amaçlanan kalınlıktaki alev yayılımı indeksinin 75' ten fazla olmaması gerekmektedir [29].

Aynı zamanda plastik malzemelerle ilgili olarak, yanıcılık sınıfı CC1, yanma uzunluğu 25 mm' den daha kısa olan veya yanıcılık sınıfı CC2, yanma oranı 64 mm/ dk. olan malzemelerin ASTM D635 (Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position) test metodu kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir [29].

Beton Malzemelerin Cephelerde Kullanımı: Bir veya iki haneli konutların temel, bodrum kat ve üst duvarlarında, PCA 100 (Prescriptive Design of Exterior Concrete Walls for One- and Two-Family Dwellings) hükümlerini yerine getirmek şartıyla, yalıtımlı beton malzeme kullanımına izin verilmektedir [29].

Alüminyum Malzemelerin Cephelerde Kullanımı: Alüminyum levhalarla ilgili olarak yönetmelikte, AA ASM 35 (Specifications for Aluminum Sheet Metal Work) şartnamesi ile uyumlu olması gerektiği belirtilmektedir [29].

Ahşap Malzemelerin Cephelerde Kullanımı: Yangına direnimli olacak şekilde işlem görmüş ahşap malzemelerin UL 723 ve ASTM E84 test metodları kapsamında değerlendirilmesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra, termit hasarı tehlikesinin fazla olduğu bilinen coğrafi bölgelerde, poliizosiyanürat, ekstrüde edilmiş veya genleşmiş polistiren içeren (yalnızca bunlarla sınırlı olmamak koşuluyla), dış duvara uygulanan toprak ve köpüklü plastikler arasındaki boşluğun 150 mm' den az olmaması gerekmektedir. Yangın duvarı ve yangın ayırma duvarlarında ise, UL 723 ya da ASTM E84 'e göre belirtildiği şekilde, 25' ten daha az bir alev yayılma indeksi ve 450' den daha az bir duman yayılma indeksi sağlanamadığında; lif levhalar doğrudan beton, yığma duvar veya diğer yanmaz veya sınırlı yanıcı bir zemin üzerine çimento ile

sabitlenerek, hava boşluklarına müdahale olmaksızın, onaylanmış bir yanmaz veya sınırlı yanıcı kaplama ile korunması gerekmektedir [29].

Alçı Malzemelerin Cephelerde Kullanımı: Yönetmelik gereğince, bina dış cephelerine veya dış ortamdan etkilenen yüzeylerine alçı sıva uygulanmamalıdır [29].

Cam Malzemelerin Cephelerde Kullanımı: Cephelerde, yüksekliği 3660 mm'yi ve alanı 7.8 m' yi aşmayan, 45 dakika yangın direnimli pencerelerin yerleştirilmesine izin verilmektedir. Yangına dayanıklı camların, 1 saat veya daha az gerekli yangına dayanıklılık derecesine sahip olan yangın bariyerlerinde serbest bırakılması ve bariyerlerin kurulduğu yer için uygun yangın koruma derecesine sahip ve onaylanmış bir tipte olması uygun bulunmaktadır [29].

Yangın pencerelerinin cam montajının, NFPA 257 veya UL 9 (Standard for Fire Tests of Window Assemblies) kapsamında test edilmiş bir tasarımda olması gerekmektedir. Simetrik olmayan ve yanmaya karşı dayanım derecesine sahip cam sistemlerinin, test fırınında alevler karşısında, iki yüzeyinin de NFPA 257 veya UL 9 (Standard for Fire Tests of Window Assemblies) test standartları kapsamında en kısa süre dayanıma sahip olması beklenmektedir [29].

Yangın Güvenliği Kapsamında Cephe Malzemelerinin IBC' ye (International Building Code) Göre Değerlendirilmesi: NFPA' de cephelerde yangın güvenliği kapsamında yer alan, cephe malzemelerinden beklenen performans özelliklerine paralel olarak, IBC' de de cephelerde malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken durumlar belirtilmektedir. Bu doğrultuda, cephe malzemeleri bina tiplerine (tip I-V) göre değerlendirilmektedir [31].

Yanıcı özellikteki cephe kaplama malzemelerinin, yangın bölücü mesafenin 1524 mm veya daha az olduğu bir dış duvar yüzey alanının % 10 ' unu geçmemesi ve yüksekliği 12.192 mm' den fazla olan binalarda ise kullanılmaması gerekmektedir. Yangına direnimli olacak şekilde kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ahşap malzemeler, ASTM 84 ve UL 723 test metodları kapsamında değerlendirildiğinde alev yayılma indeksi en fazla 25 olan ve fazladan 20 dakikalık süre boyunca yanıcı özellik göstermeyen malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, yanıcı özellikte olmayan ahşap malzemeler cephe kaplama malzemesi olarak kullanıldığında, izin verilen bina yüksekliği 18.228 mm' ye kadar çıkabilmektedir. Ahşap veya ahşap esaslı cephe kaplama malzemeleri ve en az 0.48 mm kalınlığındaki alüminyum cephe kaplama malzemeleri dışındaki, yanıcı özellikteki cephe kaplama malzemelerinin tutuşma dayanımlarının NFPA 268 kapsamında test edilmesi gerekmektedir [31]. Yangın bölücü mesafenin 1524 mm' den daha dar olduğu cephelerde, sürekli olarak yanma eğilimi göstermeyen ve NFPA 268' a uygun olan malzeme kullanımı gerekirken,

1524 mm' den daha geniş olan cephelerde ise ısı akışı en fazla 12.5 kW/m olan malzemelerin seçilmesine izin verilmektedir [31].

3.4 Birleşik Arap Emirlikleri (B.A.E) Yönetmeliği (UAE Civil Defence Fire Code)

2011 yılında, Birleşik Arap Emirlikleri' nde, General Headquarters Defence of Civil Ministry tarafından yürürlüğe konulan UAE Fire and Life Safety Code of Practice adlı yangın yönetmeliği, özellikle yüksek yapılarda yaşanan yangın felaketlerinin ardından 2018 yılında önemli ölçüde yenilenmiş ve UAE Civil Defence Fire Code olarak güncellenmiştir. Cephe kaplama malzemeleri ve cephelerde kullanılan diğer bileşenlerinin (metal kompozit paneller, alüminyum kompozit paneller, polikarbonat paneller, sandviç paneller, EIFS, ETICS, yalıtım malzemeleri vb.), yanıcılık özellikleri, yüzey yanıcılığı ve alevlerin yayılma oranı, tasarım, montaj, kontrol ve bakım özelliklerine göre sınıflandırılmasındaki asgari gereklilikler belirtilmektedir. Yönetmelikte malzemelerden beklenen yangın performansları, ASTM, UL, BS, NFPA, EN ve DIN test standartları kapsamında değerlendirilmektedir [32].

Bölüm 4.2.1' de, taş ve beton haricindeki test edilmiş ve Civil Defence tarafından listelenmiş olan cephe kaplama malzemeleri, uygulanacakları yapının türü ve yükseliği doğrultusunda değerlendirilmektedir.

Bitümen malzemenin yanma noktasının 175 C olması ve cephelerde yangının yayılmasına neden olması nedeniyle, yönetmeliğin alt katmanlar üzerine uygulanan kaplamalarla ilgili bölümünde (bölüm 4.5.1.1.) bitümen kaplamaların cephelerde kullanımı ilgili sınırlamalar yer almaktadır. Buna göre, bitümen, bitümlü ürünler, korozyon önleyici ya da su yalıtımı sağlayan malzemeler gibi yanıcı malzemelerin, metal veya beton ana katmanların ilk yüzeylerine uygulanmaması gerektiği ifade edilmektedir. Bölüm 4.5.2' de herhangi bir binanın cephesine monte edilen, dış cephe kaplama sistemleri, kaplama malzemeleri ve yalıtım malzemelerinin dış cephesinin yangın direnimsizliğinin düşürmemesi gerektiği belirtilmektedir [32].

Yalıtım malzemeleri ile ilgili olarak, Bölüm 4.5.3' de termal bariyerlerin kullanımına ilişkin bilgilere yer verilmektedir. Buna göre, dış cephede kullanılacak olan metal kompozit paneller ve alüminyum kompozit paneller gibi kaplamaların (balkon ve küçük ölçekli mimari eklemeler dışında) binanın iç mekanları ve asma tavanlardan termal bir bariyerle ayrılması şart koşulmaktadır. Buna ek olarak, termal bariyerlerin duvarın altkatmanına yalnızca yapıştırıcı ile değil mekanik bir sistemle sabitlenmesi

gerektiği de belirtilmektedir. Ayrıca, her durumda binaların dış cephelerinde kullanılacak olan malzemelerin deliksiz bir yapıda olması ve 15 dk. yangın direnimi sağlaması beklenmektedir [32].

Bölüm 4.5.4' te, boşluklarda kullanılacak olan yangın bariyerlerinin en az 100 mm yüksekliğinde ve yanmaz malzemeden olması şart koşulmaktadır. Buna ek olarak, ısı yalıtım malzemeleri ve boşluklarda uygulanacak olan yangın direnimli malzemelerin özelliklerinin eş değer olmadığı durumlarda, her kat seviyesinde yatay olarak ve cephenin her yüzünde dikey olarak yalıtım yapılması gerekliliği ifade edilmektedir [32].

Dış cephelerde dikeyde 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 kullanımı uygun görülmektedir [32].

Bölüm 4.5.6. ' da oluk dolgu macunları, destek çubukları, contalar ve buhar kesicilerle ilgili olarak, yanıcı özellikteki silikon, dolgu malzemeleri veya test edilmemiş oluk dolgu macunlarının kaplama panellerinin bağlantısında kullanımına izin verilmeyeceği belirtilmektedir. Buhar kesiciler ise, özellikle kauçuk içermeleri ve bitüm esaslı olmaları nedeniyle yanıcı özellik gösterebilmekte ve bu nedenle, cephe sistemlerinin yangın performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. Bölüm 4.5.6.3.' te buhar kesiciler ve membranların EN 13501-1 kapsamında, A sınıfı malzeme olarak onaylanmasının gerekli olduğu ifade edilmektedir. Giydirme cephelerde conta olarak veya pencerelerde su yalıtım malzemesi olarak kullanılan EPDM kauçuk içerikli malzemelerin EN 13501-1 C, S2,d0 yanıcılık özelliklerine sahip olması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, suni çimin dış cephe kaplaması olarak kullanıldığı yüzeylerde malzemenin, ASTM E84 test metodu ve EN13501-1 test metodu kapsamında en az A sınıfı olması gerektiği vurgulanmaktadır. Malzeme eğer cephe sisteminin bir parçasını oluşturuyor ise, NFPA 285 ve NFPA 268 test metodları kapsamında 20 dk. boyunca 12.5 kw/m² de tutuşma olmaması şart koşulmaktadır [32].

Cephede oluşturulan açıklıklarda kullanılan spandrel panellerin en az 60 dakika boyunca yangın direnimi sağlaması gerekmekte ve tüm yatay ve düşey profillerin (transom ve mullionlar) korunması gerekli görülmektedir. Buna ek olarak, kaplama panellerinin arkasında alüminyum desteklerin kullanımına izin verilmemektedir [32].

Cephede kullanılacak olan kaplama malzemeleri, metal kompozit malzemeler ve paneller, EIFS, ETICS, polikarbonat dış duvarlar ve cephe sistemleri, sandviç paneller, GRC/GRFC ve GRP sistemler olarak ayrı başlıklar altında incelenmiştir [32].

Malzemelerin kullanılacakları bina türü doğrultusunda sağlamaları gereken özelliklerin yer aldığı çizelgelerde, malzemeler üzerinde uygulanan yangın testlerinin geçme (pass) ve kalma (fail) koşullarının açıkça belirtilmesinin gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Malzemelerin yanıcılık performanslarının asgari koşulları sağlayıp sağlamadıklarının değerlendirilmesi açısından elde edilen sonuçların, CoC (Uygunluk Sertifikası) gibi test sertifikalarında açıkça belirtilmesi şart koşulmaktadır. Değerlendirme kapsamında sağlanması gereken asgari koşullar;

- Duvar montajı, dış duvar yüzeyde alev yayılmasına karşı dayanıklı olmalıdır.
- Duvar montajı, iç duvar yüzeyinde ve boşluklarda yangın yayılmasına karşı dayanıklı olmalıdır.
- Duvar montajı yangının bir kattan diğer kata yayılmasına karşı dayanıklı olmalıdır.
- Duvar montajı alevlerin yangının başladığı kompartımandan bitişik kompartımana sıçramasına karşı dayanıklı olmalıdır şeklinde sıralanmaktadır [32].

Metal Kompozit Malzemeler ve Paneller (MCM ve ACM) Metal kompozit ve alüminyum kompozit panellerin cephede kullanımıyla ilgili olarak yönetmelikte, birtakım ek gereklilere yer verilmektedir. Buna göre, MCM ve ACM panellerin, tip I-IV aralığındaki yapılarda kullanımına izin verilmektedir. Buna ek olarak, MCM ve ACM panellerin çekirdeğinde plastik esaslı köpük yalıtım malzemeleri, LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) veya yoğunluğu 320 kg/m² düşük olan genleştirilmiş plastik malzemelerinin kullanımına izin verilmemektedir. MCM ve ACM panellerde kullanılan çekirdek malzemelerinin plastik veya mineral esaslı olabileceği belirtilmekte ancak, malzemelerin alevlenme ve duman yayma özelliklerinin, yönetmelikte belirtilen Test 1' göre yüzey kaplamasız ve panelden bağımsız olarak test edilmesi gerekliliği yer almaktadır [32].

Yönetmelikte, yangın direnimli cephe sistemlerinin ASTM E119' a göre test edilmesi gerekliliği belirtilirken, MCM ve ACM panellerin de ayrıca ASTM E119 kapsamında test edilmemesi durumunda, üretici firma tarafından belli kriterlere göre test edilmesi gerekliliği belirtilmektedir. Cephelerde yangın güvenliği kapsamında MCM ve ACM panellerden beklenen yangın performansı özellikleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te yer almaktadır.

Tablo 3.3 Yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 MCM/ACP Çekirdek ve Panel Ürünleri	Test 2 MCM/ACP Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Süper yüksek yapı 2. Yüksek yapı 3. AVM'ler 4. Tema Parkları 5. Okullar 6. Hastaneler 7. Toplanma	i. Çekirdek kriter iii ve iv doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ve iv' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s-d0 ve ASTM D1929 MCM/ACP kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343 °C' den düşük olmamalıdır.	i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarında geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı
8. Alçak yapı 9. Orta yükseklikteki yapı 10. Depo 11. Endüstriyel	i. Çekirdek kriter iii ve iv doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ve iv' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 kapsamında B-s1-d0 geçme kriterlerini sağlama ve ASTM D1929 MCM/ACP kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır.	[if !supportLists] i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarınca geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı

Tablo 3.4 Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan MCM ve ACP malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 MCM/ACP Çekirdek ve Panel Ürünleri	Test 2 MCM/ACP Duvara Monte Edilmiş Paneller
Herhangi bir yükseklikteki, türdeki veya doluluk oranındaki binanın dış duvar inşaatı için gereklilikler	i. Çekirdek kriter iii ve iv doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ve iv' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s-d0 ve iv. ASTM D1929MCM/ACP kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır.	iii. ASTM E 119 kapsamında duvarın 1sa.,2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması iv. UL 263 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması v. EN 1362-3 kapsamında duvarın 1sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması vi. EN 1362-4 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması

Dış cephe yalıtım sistemleri (EIFS) ve ısı yalıtımlı kompozit dış cephe sistemleri (ETICS): Yönetmelik kapsamında dış cephelerde EIFS ve ETICS kaplamaların ASTM E 2568 kapsamında belirtilen performans özelliklerinin yerine getirilmesi şart koşulmaktadır. EIFS ve ETICS malzemelerin ayrıca, Civil Defence tarafından onaylı bağımsız bir test etme ve onaylama kurumu tarafından onaylanması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, sistemi oluşturan katmanların ve çekirdek malzemesinin ayrı ayrı test edilmesi istenmektedir. Buna ek olarak, EIFS malzemelerinin ANSI/EIMA 99-A (American National Standard for EIF, son haline göre) belirlenmesi ve ETICS malzemelerinin ise, ETAG 004' ün (Guidelines for European Technical Approval of ETICS with Rendering, son haline göre) gerekliliklerini yerine getirmesi beklenmektedir. Cephelerde yangın güvenliği kapsamında EIFS ve ETICS sistemlerinden beklenen yangın performansı özellikleri Tablo 3.5 ve 3.6'da yer almaktadır [32].

Tablo 3.5 Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan EIFS ve ETICS malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 EIFS/ETICS Çekirdek ve Panel Ürünleri	Test 2 EIFS/ETICS Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Herhangi bir yapı	i. EIFS'nin tüm bileşenleri (EPS /XPS, kaplama,yalıtım, ağ, yapıştırıcı ve bitirme dahil tüm katmanlar) ASTM E84 veya UL 723 kapsamında	i. BRE 135 geçme koşullarını sağlanması ile birlikte, BS 8414 –1 ya da 2 kapsamında değerlendirilmelidir.
2. Herhangi bir montaj	ayrı ayrı test edildiğinde A sınıfı olmalıdır.	ii. NFPA 285 geçme koşulu ile birlikte
3. Herhangi estetik görünüm	ve ii.NFPA 268' te belirtilen geçme kriterlerini sağlamalıdır. "20.5 dakikada 12.5 kw / m2'de ateşleme yok"	iii. FM 4881 geçme koşulu ile birlikte iv. ISO 13785-2 geçme koşulu ile birlikte

Polikarbonat esaslı dış duvar ve cephe sistemleri (PEWFS): Bir tür termoplastik olan polikarbonat, bükülebilir ve kalıplanabilir bir malzemedir. Yönetmelikte, PEWFS malzemelerin cephelerde kullanılmadan önce, Civil Defence tarafından onaylı bağımsız bir test etme ve onaylama kurumu tarafından onaylanması gerektiği belirtilmektedir.

Polikarbonat malzemelerden üretilmiş olan süsleme, derz, bağlantı ve kalıpların yönetmeliğe uygun olarak test edilmesi şartıyla istenilen kalınlıkta kullanılabileceğine izin verilmektedir. Cephelerde yangın güvenliği kapsamında PEWFS sistemlerden beklenen yangın performansı özellikleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8' de yer almaktadır.

Tablo 3.6 Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan EIFS ve ETICS malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 EIFS/ETICS Çekirdek ve Panel Ürünleri	Test 2 EIFS/ETICS Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Herhangi bir yapı	i. EIFS'nin tüm bileşenleri (EPS /XPS, kaplama, yalıtım, ağ, yapıştırıcı ve bitirme dahil tüm katmanlar) ASTM E84 veya UL 723 kapsamında ayrı ayrı test edildiğinde A sınıfı (Alev yayılımı 0-25, duman yayılımı ise 0-450 aralığında) olmalıdır.	i. ASTM E 119 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
2. Herhangi bir montaj	ya da	ii.UL 263 kapsamında duvarın 1 sa.,2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
3. Herhangi estetik görünüm	ve ii.NFPA 268' te belirtilen geçme kriterlerini sağlamalıdır. "20.5 dakikada 12.5 kw /m 'de ateşleme yok"	iii. EN 1362-3 kapsamında duvarın 1sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
		ya da EN 1362-4 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnime oranına sahip olması

Tablo 3.7 Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan PEWFS malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 PEWFS Panel Ürünleri	Test 2 PEWFS Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Süper yüksek yapı 2. Yüksek yapı 3. AVM'ler 4. Tema Parkları 5. Okullar 6. Hastaneler 7. Toplanma	i. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s-d0 ve ii. ASTM D1929 PEWFS kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343 °C' den düşük olmamalıdır.	i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarında geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı
8. Alçak yapı 9. Orta yükseklikteki yapı 10. Depo 11. Endüstriyel	i. EN 13501-1 kapsamında B-s1-d0 geçme kriterlerini sağlama ve ii. ASTM D1929 PEWFS kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır.	i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarınca geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı

Tablo 3.8 Yangın direnimli dış duvarların kaplamalarında kullanılan PEWFS malzemelerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 PEWFS Panel Ürünleri	Test 2 PEWFS Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Herhangi bir yapı	i. EIFS'nin tüm bileşenleri (EPS /XPS, kaplama, yalıtım, ağ, yapıştırıcı ve bitirme dahil tüm katmanlar) ASTM E84 veya UL 723 kapsamında ayrı ayrı test edildiğinde A sınıfı (Alev yayılımı 0-25, duman yayılımı ise 0-450 aralığında) olmalıdır.	i. ASTM E 119 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
2. Herhangi bir montaj	ya da	ii.UL 263 kapsamında duvarın 1 sa.,2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
3. Herhangi estetik görünüm	ve ii.NFPA 268' te belirtilen geçme kriterlerini sağlamalıdır. "20.5 dakikada 12.5 kw / m2'de ateşleme yok"	iii. EN 1362-3 kapsamında duvarın 1sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması
		ya da EN 1362-4 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması

Sandviç Paneller: Yönetmelik kapsamında sandviç panellerle ilgili olarak, uygulandıkları dış duvar sisteminin yangın direnimini düşürmemesi gerektiği belirtilmektedir. Panellerin dış duvarlara uygulanması durumunda, yapının iç mekanları ve havalandırma kanalı ile temas etmemesi açısından termal bariyer ile ayrılması gerektiği ifadesi yer almaktadır. Sandviç panellerin uygulanacakları yapı türüne göre karşılaması beklenen gereklilikler Tablo 3.9 ve 3.10’ de belirtilmektedir.



Tablo 3.9 Yangına direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan sandviç panellerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 Sandviç Panel Ürünleri	Test 2 Sandviç Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Süper yüksek yapı 2. Yüksek yapı 3. AVM'ler 4. Tema Parkları 5. Okullar 6. Hastaneler 7. Toplanma	i. Çekirdek kriter iii ve iv doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ve iv' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s-d0 ve ASTM D1929 PEWFS kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343 °C' den düşük olmamalıdır.	i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarında geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı
8. Alçak yapı 9. Orta yükseklikteki yapı 10. Depo 11. Endüstriyel	i. Çekirdek kriter iii ve iv doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ve iv' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 kapsamında B-s1-d0 geçme kriterlerini sağlama ve ASTM D1929 kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır.	[if !supportLists] i. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarınca geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da ii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı

Tablo 3.10 Yangın diremli dış duvarların kaplamalarında kullanılan sandviç panellerin test gereksinimleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 Sandviç Panel Ürünleri	Test 2 Sandviç Panel Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Herhangi bir yükseklikteki, türdeki veya doluluk oranındaki bina	i. Çekirdek kriter iii ya da iv ve v doğrultusunda test edilmelidir. ii. Panel kriter iii ya da iv ve v' te belirtilen kalınlıkta test edilmelidir. iii. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s1-d0 ya da iv. FM 4880 doğrultusunda "yanıcı olamayan çekirdek" geçme koşulunu sağlamalıdır ve ASTM D1929 MCM/ACP kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır.	i. ASTM E 119 kapsamında duvarın 1sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması ya da ii. UL 263 kapsamında duvarın 1 sa.,2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması ya da iii. EN 1362-3 kapsamında duvarın 1sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması ya da EN 1362-4 kapsamında duvarın 1 sa., 2 sa. ya da 3 sa. yangın direnimi oranına sahip olması

GRC/GRFC ve GRP sistemleri: GRFC veya GRC cam elyaf katkılı betonarme, GRP ise cam elyaf katkılı plastik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yönetmelik kapsamında GRP ile ilgili olarak, ASTM D3841 kapsamında belirtilen performans özelliklerinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, GRC/GRFS/GRP malzemelerin kullanım amaçları ve formları doğrultusunda EN13501-1, EN 13823 ve EN ISO 11925 kapsamlarında test edilip, onaylanması şart koşulmaktadır (Tablo 3.11) [32].



Tablo 3.11 Yangın direnimsiz ve yük taşımayan duvarların kaplamalarında kullanılan GRC/GRFC ve GRP panellerin test gereklilikleri [32]

Bina türü ve doluluk oranı	Test 1 MCM/ACP Çekirdek ve Panel Ürünleri	Test 2 MCM/ACP Duvara Monte Edilmiş Paneller
1. Süper yüksek yapı 2. Yüksek yapı 3. AVM'ler 4. Tema Parkları 5. Okullar 6. Hastaneler 7. Toplanma	i. EN 13501-1 doğrultusunda A1 ya da A2-s-d0 ile birlikte ii. EN 13823 ve iv. ASTM D1929 PEWFS kendi kendine tutuşma sıcaklığı 343 °C' den düşük olmamalıdır. ya da v. ASTM D3841 sadece CC1 kategorisi ile birlikte GRP için.	vi. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarında geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da vii. NFPA 285 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da viii. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da iv. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı
8. Alçak yapı 9. Orta yükseklikteki yapı 10. Depo 11. Endüstriyel	i. EN 13501-1 kapsamında B-s1-d0 geçme kriterlerini sağlama ve ii. ASTM D1929 PEWFS kendi kendine tutuşma sıcaklıkları 343 °C' den düşük olmamalıdır. ya da iii. ASTM D3841 sadece CC2 kategorisi ile birlikte, GRP için	iv. BS 8414-1 ya da 2 BRE 135 uyarınca geçiş kriterlerini sağlamak koşuluyla ya da v. FM 4881 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı ya da vi. ISO 13785-2 geçme "Pass" kriterlerini sağlamalı

Cam sistemleri: Yönetmelik kapsamında cam malzemelerle ilgili olarak EN ya da Amerikan (fire resistance rating & fire protection rating) standartları kullanılmaktadır. Cam için yangın sağlanması gereken yangon direnir süreleri; 30 dk., 45 dk., 60 dk., 90 dk. ve 120 dk olarak belirtilmektedir [32].

Cephelerde yangın güvenliği kapsamında cam sistemlerden beklenen yangın performansı özellikleri Tablo 3.12' de yer almaktadır.



Tablo 3.12 Cam panellerin test gereklilikleri [32]

Yapıdaki Cam Uygulaması	TEST A Yangın Direniminin Gerekli Olduğu Alanlar	TEST B Cam Güvenliği Testi (Camın kırılmasından dolayı ya da kırılma kaynaklı olmayan, bireylerde kesilme veya delinmeler yol açabilecek darbelere karşı direnç)
Yük taşımayan giydirmeye cam cepheler	Yangın direniminin gerekli olduğu yerlerde, aşağıdaki test metotlarından herhangi biriyle test edilmelidir. - NFPA 251 - EN 1364-3 - UL 263 - ASTM E119	EN 12600 ya da aşağıdakilerden herhangi bir tanesi - ANSI Z97.1, <0.9 m2 için A, - >0.9 m2 için B, - CPSC 16 CR 1202, <0.9 m2 için I ve >0.9 m2 için II
Yük taşımayan duvarlar	Yangın direniminin gerekli olduğu yerlerde, aşağıdaki test metotlarından herhangi biriyle test edilmelidir. -NFPA 251 -EN 1364-3 -UL 263 -ASTM E119	EN 12600 Ya da aşağıdakilerden herhangi bir tanesi · ANSI Z97.1, <0.9 m2 için A, · >0.9 m2 için B, · CPSC 16 CR 1202, <0.9 m2 için I ve >0.9 m2 için II

3.5 Avustralya Yangın Yönetmeliği (NCC, National Construction Code)

Avustralya ulusal yapı kodu olan NCC yönetmeliği, Avustralya hükümeti ile her eyaletin ve bölgenin hükümeti adına Avustralya Yapı Kodları Kurulu (ABCB) tarafından oluşturulmakta ve sürdürülmektedir. NCC kapsamında, yapı hakkındaki tüm gereklilikler bir araya getirilip, tek bir yönetmelik altında toplanması amaçlanmış ve temelde 3 ciltte (Volume 1, 2, 3) ele alınmıştır [35,36]. Yönetmelik kapsamında yapılar kullanım amaçları kapsamında on sınıfa ayrılmış ve her bölümde belirli yapı sınıfları irdelenmiştir.

- Cilt 1: 2. ve 9. sınıf arasındaki yapılar
- Cilt 2: 1. ve 10. sınıf arasındaki yapılar,
- Cilt 3: Tüm yapı sınıflarıyla ilgili tesisat ve drenaj gerekliliklerini içermektedir [34, 35].

Buna göre yapıların kullanım amaçları doğrultusunda;

- 1. sınıf, tek birimden oluşan yapı türünü kapsarken,
- 2. sınıf, iki ya da daha çok birimden oluşan yapıları,
- 3. sınıf, konaklama amacıyla kullanılan yapıları (1. ve 2. sınıf dışındaki otel, bakımevi, yurt, vb.),
- 4. sınıf, yapılarda bulunan tekli konutlar (sınıf 5,6,7,8,9 kapsamındaki yapılarda bulunan konutlar),
- 5. sınıf, ofis yapılarını (veya sınıf 6,7,8,9 dışındaki ticaret yapılarını),
- 6 sınıf, ticaret yapılarını,
- 7. sınıf, otopark ve depoları,
- 8. sınıf, üretim amacıyla kullanılan yapılar ve laboratuvarları,
- 9. sınıf, halka açık yapıları (okullar, sağlık yapıları, yaşlı bakımevleri, toplanma amaçlı yapılar)
- 10. sınıf ise sınıflandırmaya dahil olmayan yapıları kapsamaktadır [34].

İzin verilen durumlar dışında, kat sayısı ve kullanım amacına göre bir yapının asgari düzeyde sahip olması gereken yangın direnir sınıfı şartnamede belirtilmektedir. Buna göre, yangın riskinin en yüksek seviyede görüldüğü yapı sınıflarından A tipi yangın direnir beklenirken, yangın riskinin en az seviyede görüldüğü yapı sınıflarından ise, C tipi yangın direnir beklenmektedir (Tablo 3.13).

Tablo 3.13 Bina sınıfları ve kat yükseklikleri doğrultusunda yapıların sahip olması gereken yangın direnir sınıfları [34]

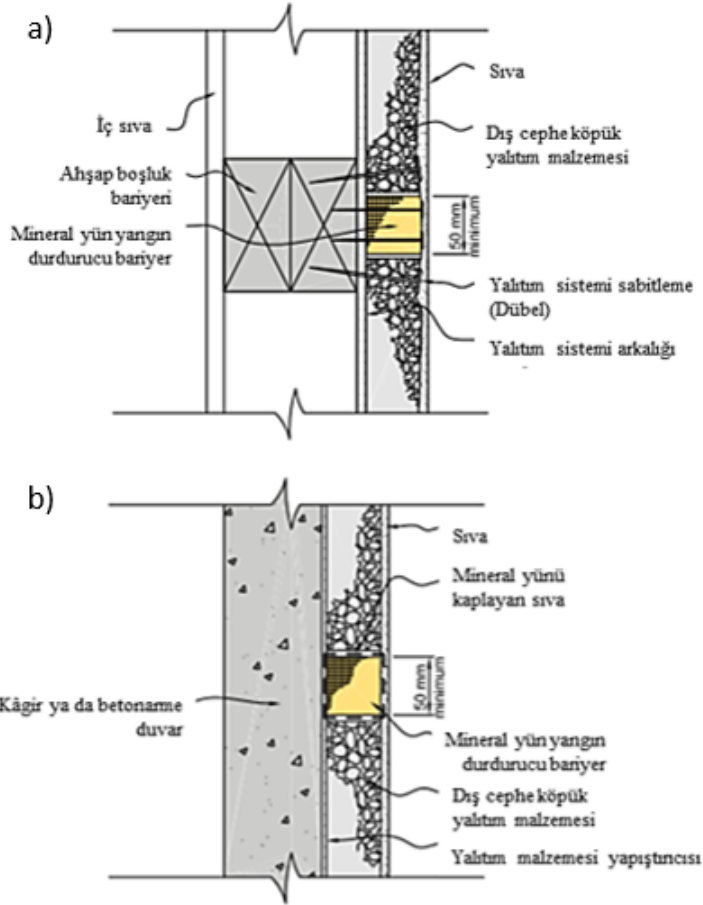
Kat sayısı	Yapı sınıfı	
	2., 3., ve 9., Sınıflar	5., 6., 7., ve 8., Sınıflar
4 veya daha fazla	A	A
3	A	B
2	B	C
1	C	C

NCC kapsamında cephe malzemelerinin yangın güvenli yapı tasarımı çerçevesinde, dış duvar ve cephe kaplamalarının yangın performansları ile ilgili olarak, Avustralya Yapı Kodları Kurulu tarafından (ABCB) danışma notları (Advisory Note) yayımlanmıştır. Buna göre, dış duvarlarda kullanılan malzemelerle ilgili olarak, Tablo 4.17 'de belirtilen sınıflandırma temel alınmaktadır. Avustralya standardı olan AS 5113 kapsamında, dış duvarlar ve bitişik yapılar arasında yangın yayılma eğilimleri sınıflandırılması amacıyla gerekli görülen prosedür ve koşullar ele alınmaktadır. Uluslararası test standartlarına dayanmakta olan AS5113, temelde ISO 13785.2 ve BS8414 Part 1 ve Part 2 deneylerine paralel olarak işlemektedir [36].

Yapılar sahip oldukları yangın risklerine göre A, B ve C tiplerine göre sınıflara ayrılarak, dış duvarlarda kullanılacak olan malzemelerin geçmesi gereken testler ve bu testlerde sağlamaları gereken koşullar belirtilmektedir. Bu kapsamda, A ve B tipi yangın güvenliği performansı istenen yapılarda yanmaz malzeme kullanımı şart koşulurken, C tipi yapılarda ise bu şart aranmamaktadır [34, 35].

3.6 Yeni Zelanda Yangın Yönetmeliği (New Zealand Building Code, Acceptable Solution)

New Zealand Ministry of Bussiness, Innovation & Employment tarafından Yeni Zelanda Bina Kodu'na uygun olarak hazırlanan Acceptable Solution, yapıda yangın güvenliği ile ilgili çözüm önerilerini içermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 NZBC yönetmeliği kapsamında dış duvarlarda yalıtım ve yatay yangın bariyeri uygulamaları a) çerçevesi konstrüksiyonda yalıtım uygulaması ve yangın bariyeri, b) kâgir ya da betonarme duvarda yalıtım uygulaması ve yangın bariyeri [33]

Yönetmelikte, 3 kat veya daha yüksek olan yapılarda uygulanacak olan yanıcı özellikteki termal yalıtım malzemeleriyle ilgili olarak, iki kattan daha fazla olmayan aralıklarla yerleştirilmiş yatay yangın durdurucu bariyerler uygulanması gerektiği belirtilmektedir. Buna ek olarak, çerçevesi konstrüksiyonlarda uygulanacak olan dış cephe kaplamalarının çerçevesi bir boşluk içerisine kaplama malzemesi ile aynı seviyede yangın durdurucu bir malzemeyle uygulanması şart koşulmaktadır [33].

Tablo 3.14 NZBC kapsamında dış cephe kaplama sistemlerinin değerlendirilmesi
[33]

Bina yüksekliği	Sınıra olan uzaklık < 1 m	Sınıra olan uzaklık > 1 m
Tek seviyeli	Tip A	Gereklilik bulunmamaktadır.
10 m	Tip A	Tip B, S1 risk grubu için. Diğer risk grupları için bir gereklilik bulunmamaktadır.
>10 m	Tip A	Tip A
Kaplama Türü	En yüksek ısı salınım oranı (kW/m ²)	Toplam ısı salınımı (Mj/m ²)
Tip A	100	25
Tip B	150	50
Notlar: -NZBC kapsamında, radyasyonla ısı akısı için izin verilen maksimum değerde, ilgili sınırın 1 m içerisinde bulunan kaplamaların tutuşmayacağı varsayılmaktadır. -ISO 5660.1 veya AS/NZS 3837 kapsamında, 15 dakika boyunca, 50 kW/m² ısıtım altında test edilerek belirlenmiştir.		

Dış cephe kaplama malzemeleri ile ilgili olarak, Tablo 4.14'te belirtilen koşulların yerine getirilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Öte yandan belirli durumlarda Tablo 4.14' te belirtilen koşullar istenmemektedir. Buna göre, yüzey kalınlığı 1 mm'den fazla olan ve doğrudan yanıcı olmayan bir malzemenin arka katmana uygulanması ya da duvar bileşenlerinin tamamının NFPA 285' e göre test edilip geçme koşullarını sağlamış olması gerekmektedir (Tablo 3.14).

Ayrıca, yönetmelik kapsamında dış cephe kaplama sistemlerinin yangın ile ilgili özellikleri hakkında bölüm C7.1' de birtakım ek bilgilere yer verilmektedir. Buna göre, dış cephe kaplama malzemelerinin ısı salınımı, duman üretimi ve kütle kaybı oranı gibi yangın direnir özellikleri ISO 5660 yangın tepki testlerine göre belirlenecektir. Buna ek olarak, C 7.1.2' de ISO 5660' ın koşullarını yerine getirmenin yanı sıra, testin bazı özel koşullara uygun olarak gerçekleştirilmesi gerekliliği ifade edilmektedir. Buna göre;

- 50 kW/m² lik harici bir ısı akışı,
- 15 dakikalık bir test süresi,
- Testin başınan itibaren salınan toplam ısı,
- Numunenin yatay olarak yönlendirilmesi ve
- Dışarıdan ateşleyici bir kaynak kullanılması gerekmektedir [33].

Ahşap kaplama malzemeleri hakkında ise, yangın geciktirici işlem uygulanmış kaplamaların ISO 5660' ya göre test edilmeden önce ASTM D 2898 B metodunda belirtilen hızlandırılmış hava koşullarına ve Metod A' da su akış debisi testine tabi tutulması gerektiği belirtilmektedir. Tek başına yanıcı olmayan malzemeler içeren dış cephe kaplama sistemleri çizelgede belirtilen koşulları yerine getirmiş sayılmaktadır. Yönetmelikte metal kaplamalarla ilgili olarak, yanıcı bir çekirdeği veya yalıtım malzemesi bulunan ve erime noktası 750 °C ' dan düşük bir metal ile kaplanmış olan kaplamaların C7.1.2' de belirtilmiş olan gereklilere göre değerlendirilmesi şart koşulmaktadır [33].

3.7 Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerin Cephe Malzemeleri Kapsamında Değerlendirilmesi

Ulusal ve uluslararası yönetmelikler bina cephesi ölçeğinde incelenerek, dış duvar ve cephelerde kullanılacak olan malzemelerinin sağlaması gereken yangın performansları ve cephe sistemleri hakkındaki tasarım ve malzeme seçim önerileri ele alınmıştır. Tablo 3.15'te dış duvar ve cephe malzemeleri hakkındaki gereklilikler ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre değerlendirilerek, karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.15 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin dış duvar ve cephe malzemeleri kapsamında değerlendirilmesi

Yönetmelik adı	Dış Duvar ve Cephe Malzemeleri Hakkındaki Gereklilikler
BYKHY (Türkiye Cumhuriyeti Yangın Yönetmeliği, 2015)	- Cephe malzemeleri ile ilgili olarak, bina yüksekliği (28,5 m), geleneksel cephe sistemleri ve giydirme cepheler olmak üzere 3 temel kritere göre sınıflandırma yapılmaktadır. Buna göre, yüksekliği 28.5 m' nin altında olan yapıların dış cephelerinde kullanılacak olan cephe kaplama malzemelerinin en az zor alevlenici özellikte (A2, B, C- s3, d2) olması gerekmekte ve yüksekliği 28.5 m' nin üzerinde olan yapılarda ise, en az zor yanıcı özellikteki (A2- s1,d0) malzemelerin kullanılması şart koşulmaktadır. - Geleneksel cephe sistemlerinde, dış cephesi zor alevlenici malzeme (A2, B, C- s3, d2) veya sistemden oluşturulmuş yüksekliği 28.50 m'den az olan binalarda doğal veya düzeltilmiş zemin kotunun üzerindeki 1.5 cm ve üst kenarlarına en az 30 cm eninde hiç yanmaz malzeme (A1) ile yangın bariyerinin kullanımı gerekli görülmektedir. Buna ek olarak, bitişik nizamda bulunan farklı yükseklikteki binalarda ise alçakta olan binanın çatı seviyesinden itibaren yüksek bina katının hiç yanmaz (A1 sınıfı) malzeme veya sistemin kullanımı şart koşulmaktadır. -Giydirme cephelerle ilgili olarak yönetmelikte, en az zor yanıcı özellikteki (A2- s1, d0) cephe kaplama ve yalıtım malzemelerinin kullanılmasının gerekli olduğu belirtilmektedir.
BS 9999, Approved Document B, (İngiltere Yangın Yönetmeliği, 2017)	-Malzeme seçimi ile ilgili olarak yapı yükseliği (18 m) ve yapılar arasında sınır mesafesi (1 m) kriterleri temel alınmaktadır. - Malzemelerin yanıcılık özellikleri; tutuşma kolaylığı, malzemedan ortama salınan ısı miktarı, yüzeyde alev yayıcılık ve toplam ısı yayma potansiyeline göre değerlendirilmektedir. -Yönetmelik kapsamında yayımlanan Approved Document B' de, cephe malzemelerinin yanıcılık özelliklerinin BS 8414-1 ve BS 8414-2 test metodları kapsamında test edilerek, geçme koşullarının sağlanması gerekliliği belirtilmektedir.

Tablo 3.15 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin dış duvar ve cephe malzemeleri kapsamında değerlendirilmesi (devamı)

NFPA 5000 (ABD Yangın Yönetmeliği, 2018)	- Yanıcı özellikteki cephe malzemelerinin yangın bölücü mesafesinin 1.524 m veya daha az olduğu yerlerde dış duvar yüzey alanının % 10 'u geçmemesi ve yüksekliği 12.192 m' den yüksek olan yapılarda kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir. Yangın bölücü mesafenin 1.524 m' den daha kısa olduğu sürekli yanma eğilimi göstermeyen ve NFPA 268'e uygun olarak test edilip onaylanmış olan malzemelerin kullanımı gerekli görülmektedir. 1.524 m' den daha fazla olan mesafelerde ise, ısı akısı en fazla 12.5 kW/m² olan malzemelerin kullanımına izin verilmektedir. Dış duvarlar NFPA 268 testlerinde sürekli alevlenme eğilimi göstermemelidir. - Yönetmelik kapsamında cephelerde kullanılacak malzemelerle ilgili olarak, malzeme türüne göre ayrı ayrı gerekliliklere yer verilmektedir. Buna göre, plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin, yüzey koruyucularının ve cephe kaplama malzemelerinin kullanım amaçları doğrultusunda, ASTM E84 veya UL 723 test metodlarına göre test edilmesi gerekmektedir. - Plastik malzemelerin alevlenme noktası ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ise ASTM D1929 test metoduna göre test edilip, belirli koşulları yerine getirmesi gerekmektedir. Ayrıca, plastik esaslı köpük yalıtım malzemelerinin yapının iç mekanları ve asma tavan boşluklarının önlemek amacıyla NFPA 275 kapsamında test edilip, onaylanmış bir ısı bariyerinin kullanımı uygun bulunmaktadır. - NFPA 285 kapsamında değerlendirilen metal kompozit panellerin dış duvarlarda kullanımı ile ilgili olarak, tip I-IV arasındaki yapılarda yapı yüksekliğine göre (12 m ve 15 m) farklı kriterlerin sağlanması gerekliliği vurgulanmaktadır. Tip V' te yer alan yapılarda B sınıfı yanıcılık özelliği gösteren metal kompozit malzemelerin kullanımı uygun bulunmaktadır. - Işık ileten plastik panelleri ile ilgili olarak; kendiliğinden tutuşma sıcaklıklarının ASTM D1929, duman yayıcılık özelliklerinin ASTM EN84 ve UL 723, alev yayılımı indeksinin ASTM D2843, yatay pozisyonundaki yanma hız ve/veya süresinin ise ASTM D635 test metoduna göre test edilmesi gerekli görülmektedir.
---	---

Tablo 3.15 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin dış duvar ve cephe malzemeleri kapsamında değerlendirilmesi (devamı)

NFPA 5000 (ABD Yangın Yönetmeliği, 2018)	-Ahşap malzemelerin dış cephelerde kullanılmak üzere, yangına direnimli hale getirilerek, ASTM EN84 ve UL 723 test metodları kapsamında test edilerek onaylanması ve buna ek olarak belirli kriterleri de sağlaması gerekli görülmektedir. - Alçı malzemelerin yapıların dış duvar yüzeylerine ve dış ortamdan etkilenen yüzeylerine uygulanmasına izin verilmemektedir. - Beton malzeme ile ilgili olarak, Bir veya iki haneli konutların temel, bodrum kat ve üst duvarlarında, PCA 100 kapsamında belirtilen kriterlerin yerine getirilmesi gerekli görülmektedir. -Cephelerde, yüksekliği 3.660 m'yi ve alanı 7.8 m2' yi aşmayan, 45 dk. yangın direnimine sahip pencerelerin yerleştirilmesine izin verilmektedir. -Ayrıca, ahşap veya ahşap esaslı cephe kaplama malzemeleri ve en az 0.48 mm kalınlığındaki alüminyum cephe kaplama malzemeleri dışında, yanıcı özellik gösteren cephe kaplama malzemelerinin tutuşma dayanımlarının NFPA 268 kapsamında test edilmesinin gerekliliği belirtilmektedir.
UAE Civil Defence Fire Code (BAE Yangın Yönetmeliği, 2018)	-Cephe kaplama malzemeleri ve cephelerde kullanılan diğer bileşenlerinin (metal kompozit paneller, alüminyum kompozit paneller, polikarbonat paneller, sandviç paneller, EIFS, ETICS, yalıtım malzemeleri vb.), yanıcılık özellikleri, yüzey yanıcılığı ve alevlerin yayılma oranı, tasarım, montaj, kontrol ve bakım özelliklerine göre sınıflandırılmasındaki asgari gereklilikler belirtilmektedir. -Malzemelerin kullanılacakları bina türü doğrultusunda sağlamaları gereken özelliklerin yer aldığı çizelgelerde, malzemeler üzerinde uygulanan yangın testlerinin geçme (pass) ve kalma (fail) koşullarının açıkça belirtilmesinin gerekli olduğu vurgulanmaktadır. -Malzemelerin yanıcılık performanslarının asgari koşulları sağlayıp sağlamadıklarının değerlendirilmesi açısından elde edilen sonuçların, CoC (Uygunluk Sertifikası) gibi test sertifikalarında açıkça belirtilmesi şart koşulmaktadır.

Tablo 3.15 Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin dış duvar ve cephe malzemeleri kapsamında değerlendirilmesi (devamı)

NCC, Advisory Note (Avustralya Yangın Yönetmeliği, 2016 & 2018)	Yönetmelik kapsamında, yapılar kullanım amaçları doğrultusunda 1-10 aralığında sınıflandırılmakta ve bina türü ile yükseklikleri doğrultusunda, sahip oldukları potansiyel yangın riskine göre A, B, C tiplerine ayrılmaktadır. En riskli bulunan A ve B tipi yapıların dış duvarlarında hiç yanmaz malzeme kullanımı gerekli görülürken, C tipi yanıcı özellikteki malzemelerin kullanımına izin verilmektedir.
New Zealand Building Code, Acceptable Solution (Yeni Zelanda Yangın Yönetmeliği, 2019)	- Yönetmelik kapsamında yalıtım ve cephe kaplama malzemeleri ayrı başlıklarda ele alınmaktadır. -Yalıtım malzemeleri ile ilgili olarak, çerçeveli, betonarme ya da kagir yapı sistemleri olma durumlarına göre farklı uygulama yöntemleri şart koşulmaktadır. Ancak bazı durumlarda, bu yöntemler istenmeyebilmektedir. Buna göre, kalınlığı 1 mm'den fazla olmayan doğrudan yanıcı olmayan alt tabakaya uygulanması ya da duvar bileşenlerinin tamamının NFPA 285' e göre test edilip geçme koşullarını sağlamış olması gerekmektedir. -Cephe kaplama malzemelerinin seçiminde, yapı yükseklikleri (10 m) ve sınır mesafesi (1m) kriter alınmaktadır. Kaplama türünün (Tip A ve Tip B) en yüksek ısı salınım oranı (kW/m) ve toplam ısı salınım oranı Mj/m' ile sınır değerleri belirtilmektedir.

Tablo 3.15' te karşılaştırmalı olarak ele alınan yönetmeliklerde yer alan cephelerdeki yangın güvenlik önlemleri değerlendirildiğinde, Türkiye BYKHY' de yangının cephelerde yayılması, diğer kompartımanlara ve katlara ulaşmasının engellemesi ile ilgili olarak eksiklikler olduğu görülmektedir. Son yıllarda, özellikle yüksek katlı yapılarda meydana gelen cephe kaynaklı yangın olayları incelendiğinde yangınların büyümesinde ve yayılmasında yanıcı özellikteki kaplama ve yalıtım malzemelerinin son derece etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle, uluslararası yönetmeliklerde düşük yangın direnimsel özelliklerine sahip olan malzemelerin kullanımına belirli test kriterlerinin sağlanması doğrultusunda kısıtlamalar getirilmektedir. Yönetmeliklerde belirtilen test standartlarının ve bazı kriterlerin NFPA ve BS yönetmeliklerinin temel alınarak oluşturulduğu ifade edilmektedir. Geçtiğimiz yıllarda BAE' de meydana gelen gökdelen yangınları sonucunda, 2018 yılında BAE yangın yönetmeliğinde büyük çaplı

değişiklikler yapılmış ve her bir malzeme türü için ayrı test standartları ve ek kriterler getirildiği gözlemlenmiştir. Bu amaçla, uluslararası ASTM, UL, EN, NFPA, BS ve DIN test standartlarından faydalanılmış ve her bir malzeme türü için uygulanacakları binaların kullanım amacı, yüksekliği, dış duvar sistemi ve malzemelerin işlevine göre ayrıca Civil Defence tarafından kabul edilmiş bir test etme ve onaylama kurumu tarafından da onaylanması gerektiği belirtilmiştir.

Türkiye BYKHY yönetmeliği değerlendirildiğinde ise, malzemelerin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesine ilişkin olarak eksiklikler bulunduğu söylenebilmektedir. Yönetmelik kapsamında malzemelerin değerlendirilmesinde binaların kullanım amaçları doğrultusunda sınıflandırılmadığı, binalar arası mesafelerin kriter alınmadığı gözlemlenmektedir. Malzeme seçimi ile ilgili olarak yalnızca; 28.5 m sınır yüksekliği, geleneksel yapım yöntemleriyle inşa edilme veya giydirme cephe olma durumlarının kriter olarak alındığı görülmektedir. Yönetmelikte malzemelerle ilgili belirtilen kriterler dışında yanıcı özellikteki çekirdek, yalıtım ve kaplama malzemeleriyle ilgili olarak ek kriterler ve test standartları belirtilmemektedir.

Gelişmiş ülkelerde yangın güvenliği ile ilgili karşılaşılan problemler ve gelişen teknoloji nedeniyle yönetmelikler genellikle iki yıl aralıklarla güncellenmektedir, ancak Türkiye’de ise bu durum biraz daha farklı olmaktadır. 2002 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte günümüze kadar geçen süre içerisinde yalnızca 4 defa değişiklik yapılmıştır. Bu nedenle, Türkiye’de yangın güvenliğinin sağlanması amacıyla, yönetmeliğin maddelerinin uygulanması hakkında denetimler yapılarak, karşılaşılan problemler ve gelişen teknoloji doğrultusunda, yönetmeliğin güncellenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde konvansiyonel cephe malzemeleri hakkında kriterlerin yer aldığı görülmektedir. Öte yandan, gelişen malzeme üretim teknolojileri sayesinde yenilikçi ve akıllı malzemeler de hızlı bir şekilde piyasa sunulmaktadır. Yeni malzemelerin üreticiler tarafından kısa sürede üretilip, piyasaya sürülmesinin ardından cephelerde uygulanmaya başlaması yangın güvenli yapı tasarımı açısından birtakım riskleri de beraberinde getirmektedir [181]. Bu yeni grup akıllı malzemelerden biri olan nano-malzemeler de özellikle bina cephelerinde sağladığı avantajlardan dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Yeni malzemelerin yönetmelikler kapsamına alınmadan önce test edilip, onaylanmasının uzun bir süreç gerektirmesi, bu malzemelerin yapıda yangın güvenliği çerçevesinde, üreticiler, tasarımcılar ve uygulayıcılar tarafından değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yeni malzeme üretim teknolojileriyle üretilmiş olan malzemelerin de ulusal ve uluslararası standart ve yönetmeliklerde yer alması beklenmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen ulusal ve uluslararası standart ve yönetmeliklerde malzeme seçimine yönelik eksiklikler tespit edilmiş olup, bu eksiklerin giderilmesi amacıyla Bölüm 4' te yangın güvenli cephe tasarımı için malzeme seçimine yönelik bir sistem yaklaşımı modeli önerilmiştir.



YANGIN GÜVENLİKLİ CEPHE TASARIMINDA MALZEME SEÇİMİNE İLİŞKİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Malzeme üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve değişen kullanıcı gereksinimleri malzeme özellikleri ve çeşitliliği üzerinde önemli oranda etkili olmaktadır. Öte yandan, giderek artan malzeme çeşitliliği yapıda malzeme seçimini karmaşık bir hale getirebilmektedir. Bu nedenle, malzeme özelliklerinin sınıflandırılması, bilgilerin karşılaştırılması ve amaca uygun seçim yapılabilmesi açısından malzemelerin kapsamlı, anlaşılır ve kolay bir sistem çerçevesinde ele alınması malzeme seçimi konusunda önem taşımaktadır [21, 182]. Çalışmada, yangın güvenli cephe tasarımının sağlanması için gerekli ve uygun malzemelerin seçimi sistem yaklaşımı modeli kapsamında değerlendirilecektir.

4.1 Modelin Kurgusu

Belirli bir amaç doğrultusunda aralarında ilişki bulunan, fiziksel olan ya da fiziksel olmayan elemanlar topluluğu sistem olarak tanımlanmaktadır. Sistem birbirinden ayrılmayan alt parçalara sahip bir bütün olarak da ifade edilebilmektedir [118].

Sistem,

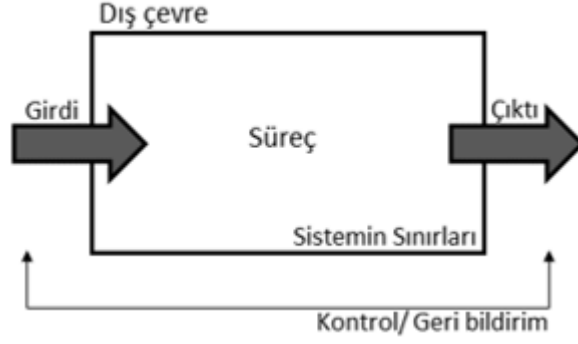
- Belirli alt sistemlerden meydana gelmekte,
- Alt sistemler arasında ilişki bulunmakta,
- Bu alt sistemleri amacı gerçekleştirmek adına birbirine bağımlı olan bir bütünü oluşturmakta ve
- Kapalı ve açık sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Açık sistemler çevreleriyle ve diğer sistemlerle aralarında bilgi ve materyal alışverişi bulunmaktayken, kapalı sistemlerde bu duruma rastlanmamaktadır[183, 184].

Sistem teorisi, belirli problemleri çözmek, önerilerde bulunmak geleceği tahmin etmek için kullanılan modelleri, teorileri ve kavramları kapsamaktadır. Sistem teorisyenleri, sistem teorisi kavramını evrensel bir işeyiş mekanizmasına uyarlanmış, ortak bir dil ve kavram havuzu çerçevesinde yürütülen disiplinlerarası bir bilim olarak yorumlamaktadır [185]. İlk olarak 1950'lerde ortaya atılan sistem yaklaşımı kavramı ise, bir problemi çözmek amacıyla kullanılan değerler dizisi (paradigması) olarak tanımlanmaktadır [121]. Sistem yaklaşımı Tecim'e göre ise, bir olayın veya problemin genel bir bakış açısı içerisinde tüm yönleriyle ele alınarak, problemi veya olayı oluşturan parçalar arasındaki ilişkilerin incelendiği bir problem çözme metodu olarak değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle, bir olaya veya probleme bakış ve çözme yaklaşımı olarak da ifade edilmektedir [183]. Sistem yaklaşımı tasarımcıların hızlıca karar verebilmesi adına öngörude bulunmasına ve tasarlamasına olanak sağlamaktadır [186].

Sistemi oluşturan alt sistemler (parçalar) bir bütün olarak değerlendirildiğinden, herhangi bir alt sistemi etkileyen durum, diğer alt sistemlerin de etkilenmesine neden olabilmektedir. Bu parçalar temelde; girdi, süreç, çıktı, sistemin sınırları, dış çevre, kontrol ve geri bildirim olarak adlandırılmaktadır [183, 185, 186]. Yapıda ürün seçimi karar verme sürecinin sonucunda gerçekleşmektedir. Karar verme süreci ise:

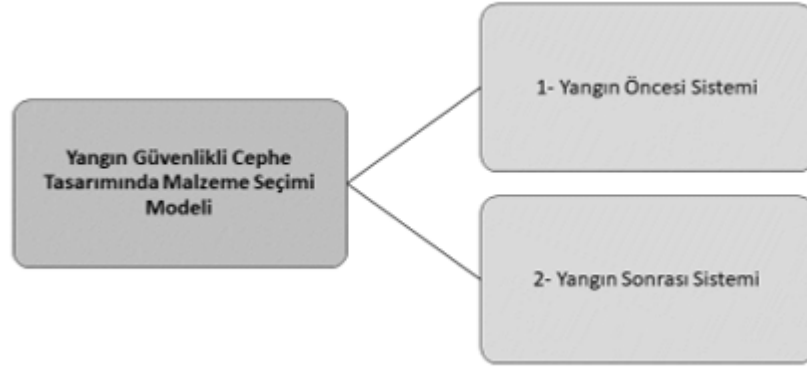
- Girdi,
- Süreç ve
- Çıktı olmak üzere üç ana elemandan oluşmaktadır.

Sistemde her yeni aşamadan bir önceki aşama girdi olarak tanımlanmaktadır. Her aşamada işlemlerin gerçekleştiği zaman dilimi süreç olmakta ve sürecin sonucunda çıktı oluşmaktadır. Çıktının amacı ne ölçüde karşıladığına bakılıp, performans ölçümlemesinin ardından gerekli görülmesi durumunda girdilerde değişik yapılması süreci kontrol/geri bildirim olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.1), [186].



Şekil 4.1 Sistem modelinin örneklenmesi

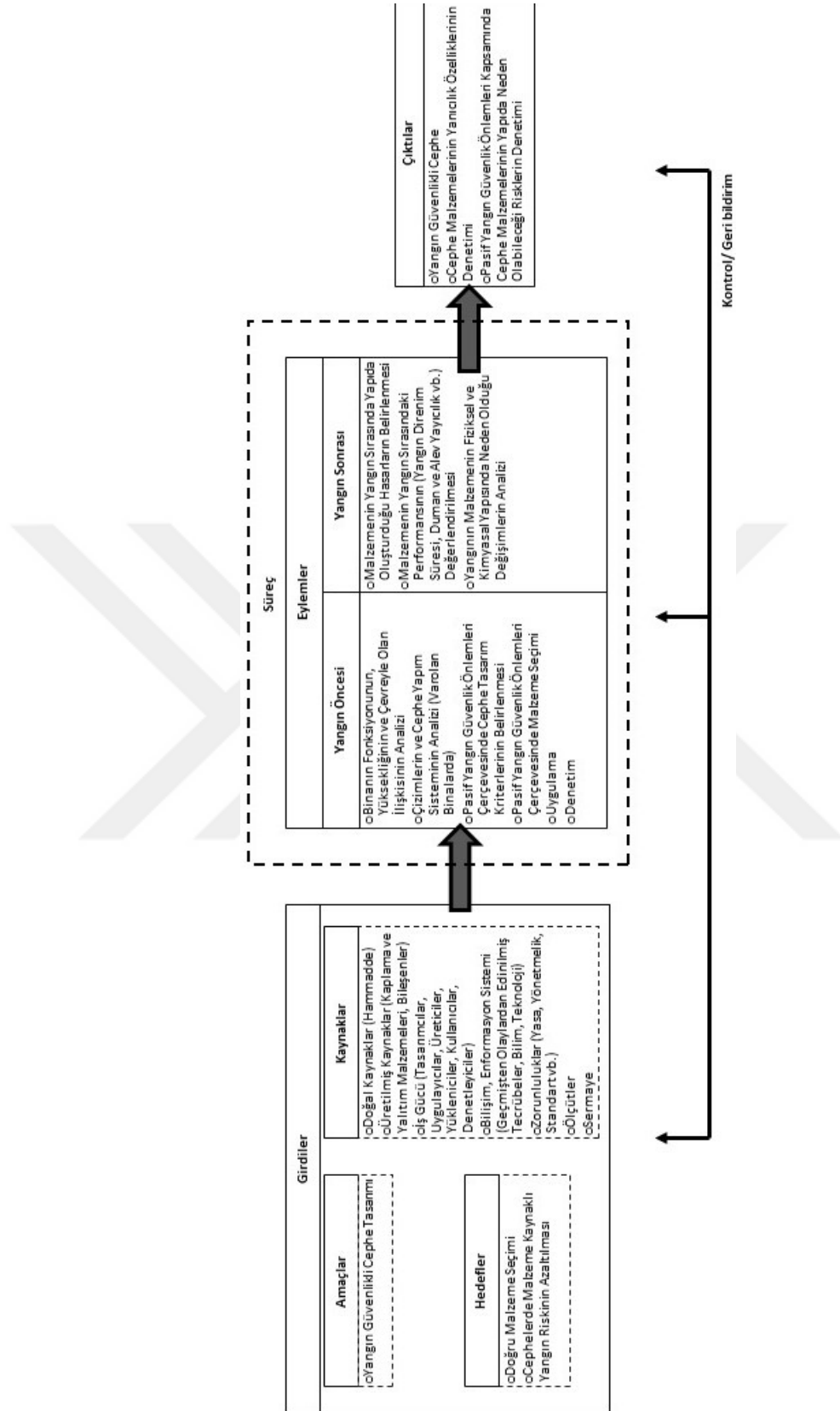
Yangın güvenli cephe tasarımı için malzeme seçim modeli temelde; yangın öncesi ve yangın sonrası olmak üzere iki sisteme ayrılmaktadır. Yangın öncesi sisteminde cephede yangın riskini en aza düşürmek amacıyla belirli performans ölçütleri çerçevesinde cephe yapım sistemi ve malzemelere ilişkin olarak karar verme, uygulama ve denetim amaçlanmaktadır. Yangın sonrası sisteminde ise, hasar tespiti ve bundan sonra yapılacak uygulamaya karar verilmesi amaçlanmaktadır. Sistemi oluşturan alt sistemler ise, kendi içlerinde süreç ve alt süreçlere ayrılmaktadır. Sistem bir bütün olarak ele alındığından, sistemi oluşturan herhangi bir alt sistemde karşılaşılan bir olumsuzluk kendinden sonraki alt sistemleri de etkileyebilmektedir. (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Cephe malzemesi seçim modelini oluşturan sistemler

Sistem yaklaşımı metoduyla oluşturulan modelde yangın güvenli cephe tasarımına yönelik amaçlar, hedefler ve söz konusu amaç ve hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli görülen kaynaklar girdiler başlığında ele alınmaktadır. Amaç ve hedeflere ulaşmayı sağlayacak olan eylemler de süreçleri oluşturmaktadır. Son aşamada ise, belirlenen amaç ve hedefe ulaşıp ulaşılmadığını gösteren çıktılar yer almaktadır. Buna ek olarak, önceki alt sistemlerde yer alan süreçlere geri dönülerek girdiler değiştirilerek sistemin denetlenmesi mümkün olmaktadır (Şekil 4.3). Girdiler başlığında yer alan amaçlar; yangın güvenli cephe tasarımını içerirken, hedefler ise doğru malzeme seçimi ve cephe kaynaklı yangın riskinin azaltılmasını kapsamaktadır.

Amaç ve hedeflerin gerçekleşmesini sağlayacak olan kaynaklar ise; doğal kaynaklar, üretilmiş kaynaklar, iş gücü, bilişim ve enformasyon sistemi, zorunluluklar, ölçütler ve sermaye olarak sıralanmaktadır. Eylemler adımı ise, modeldeki amaç ve hedeflerin gerçekleşmesini sağlayacak olan tasarım aşamasından itibaren başlayıp cephenin hizmet ömrü boyunca yapılacak olan uygulamaların tümünü kapsamaktadır. Ayrıca, eylemler modelin kontrollü bir şekilde işlemlerini sağlamak adına Yangın Öncesi ve Yangın Sonrası olmak üzere iki aşamada ele alınmaktadır. Olası bir yangının cephelerde ilerlemesini sınırlandırmak, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesini sağlamak amacıyla Yangın Öncesi Sistemi kurgulanırken, yangın sonrasındaki eylemlerin yürütülmesi amacıyla Yangın Sonrası Sistemi kurgulanmıştır. Çıktılar adımı modelde belirlenen amaç ve hedefe ulaşıp ulaşılmadığının kontrol edildiği adımdır. Belirlenen amaç ve hedeflere ulaşamadığında modelde geri dönüşler yapılarak modelin işleyişini engelleyen adımlar ayrı ayrı değerlendirilmelidir.



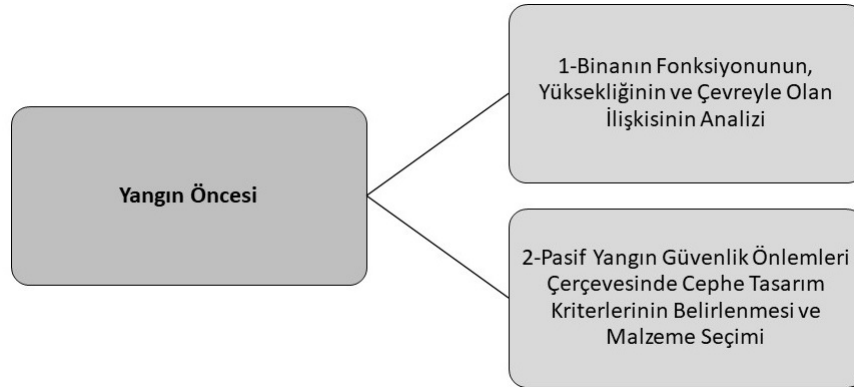
Şekil 4.3 Yangın güvenli yapı tasarımında malzeme seçimine yönelik bir sistem

4.2 Yangın Öncesi Sistemi

Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında malzeme seçimi, yangın öncesi sistemde ele alınmaktadır. Yangın öncesi malzeme seçim sistemi sırasıyla;

- Binanın işlevinin, yüksekliği ve çevreyle olan ilişkisinin analizi,
- Cephe tasarımının ve yapı sistemlerinin analizi (mevcut binalarda),
- Pasif yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi,
- Pasif yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde malzeme seçimi,
- Uygulama ve denetim olmak üzere beş alt sistemden oluşmakta ve her alt sistem de farklı alt süreçlere ayrılmaktadır.

Pasif yangın güvenlik önlemleri binanın kullanım ömrü boyunca etkili olduğundan, bu aşamada alınacak olan kararlar olası bir yangın olayı sırasında önemli rol oynayacaktır. Dolayısıyla, tüm alt sistemlerin detaylı olarak ele alınarak malzeme seçiminin bu alt sistem ve süreçlerde belirtilen ölçütler doğrultusunda yapılması, sistemin işleyişi ve yangın güvenli yapı tasarımı açısından doğru malzeme seçiminde olumlu sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır (Şekil 4.4).

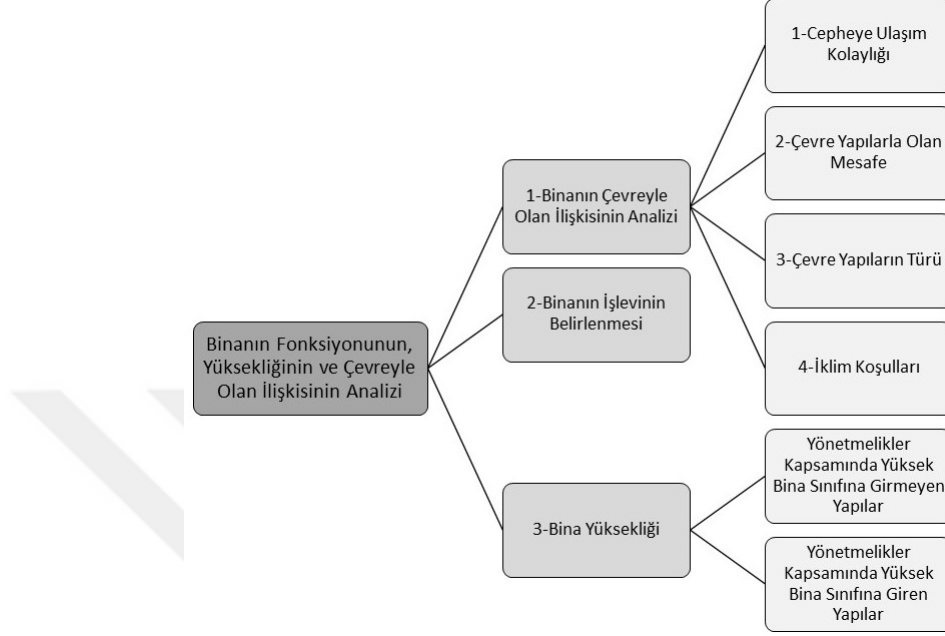


Şekil 4.4 Yangın öncesi sistemi ve sistemi oluşturan alt sistemler

4.2.1 Binanın İşlevi, Yüksekliği ve Çevre ile Olan İlişkisinin Analizi Alt Sistemi

Yangının yapı ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Yangının meydana geldiği binanın işlevi, buna bağlı olarak kullanıcı profili, yüksekliği ve çevresiyle olan ilişkisi yapıda yangın riskini arttırabilmektedir. Bu nedenle, tasarım aşamasında ilk olarak, binanın işlevi kullanılacağı, kullanıcı profili, gün içindeki kullanım saatleri, yangın yükü, cepheye ulaşım kolaylığı, çevre yapılarla olan mesafesi, çevre yapıların türü ve iklim

verileri gibi parametreler ele alınarak binada veya çevresinde yangın tehlikesine neden olabilecek etmenlerin belirlenmesi gerekli görülmektedir. Elde edilen verilerin analizinin ardından, ön görülen riskler doğrultusunda yangın güvenli tasarım ve ardından malzeme seçimi yapılması önem oluşturmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Binanın işlevi, yüksekliği ve çevre ile olan ilişkisinin analizi alt sistemi

4.2.1.1 Binanın Çevre ile Olan İlişkisinin Analizi Süreci

Yangının meydana geldiği çevredeki dış ortam koşulları yangının büyüme, yayılma ve ilerleme hızına doğrudan etki etmektedir. Özellikle, cephelerde meydana gelen yangınlar dış ortamla daha fazla etkileşim halinde olduğundan yangının kısa sürede kontrol edilemez bir büyüklüğe ulaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, cephe malzemelerinin seçiminden önce, yangın sırasında yaşanabilecek tüm risklerin ön görülmesi amacıyla çevre ile ilgili bir takım analizlerin yapılması gerekli görülmektedir. Bu analizler:

- Cepheye ulaşım kolaylığı,
- Çevre yapılarla olan mesafe ve
- Çevre yapıların türü olarak sıralanabilmektedir.
- **Cepheye Ulaşım Kolaylığı**

Cephede meydana gelen bir yangın olayında, alevler yüzeyden hızlıca yayılarak çatıya kadar ulaşabilmektedir. Bu nedenle, yangının üst katlara ulaşmasının ve iç mekânlara

girişinin engellenerek kontrol altına alınması amacıyla söndürme çalışmalarının mümkün olduğunca kısa bir süre içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İtfaiye ekiplerinin yangını kontrol altına alması ve söndürebilmesi açısından cepheye ulaşım konusunda herhangi bir engel bulunmaması gerekmektedir. Söndürme çalışmalarına başlanabilmesi açısından, bina önündeki yol genişliği yönetmeliklerde belirtildiği üzere, itfaiye araçlarının geçişine izin verecek ölçüde düzenlenmelidir. Türkiye BYKHY’ de itfaiye araçlarının cepheye erişimi ile ilgili olarak, araçların binaya yaklaşabildiği son noktadan binanın dış cephesindeki herhangi bir noktaya olan yatay mesafenin en fazla 45 m olabileceği belirtilmektedir.

- **Çevre Yapılarla Olan Mesafe**

Cephede gelişimine devam eden bir yangından oluşan ısı enerjisi konveksiyon (taşınım) ve radyasyon (ışınım) ile çevre yapılara transfer olabilmektedir. Bu durumda, çevre yapıların cephelerine sıçrayan yangın büyüyerek diğer yapıları da tutuşturabilmekte veya komşu yapının iç mekânlarına kadar ulaşabilmektedir. Yanmakta olan cephe malzemelerinden koparak çevreye saçılan parçalar, eriyikler ve alevler komşu yapının cephe malzemelerini tutuşturarak yangının çevredeki diğer yapılar boyunca ilerlemesine neden olabilmektedir. Dolayısıyla, bina cephelerinin çevredeki diğer yapılarla olan mesafesi dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Özellikle, bitişik veya ikiz nizam yapıların cephelerinde ek yangın güvenlik önlemlerinin alınması önerilmektedir. Yangının bir binanın cephesinden, bitişik nizamdaki binanın yanıcı özellikteki malzemelerden oluşturulmuş cephesine sıçraması daha büyük bir tutuşma kaynağı yaratabilmektedir. Binaların dış duvarlarında kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve pencere açıklıkları da mesafenin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Yanıcı malzemeler de cephe yüzeyinde açıklık olarak kabul edilmektedir. Örneğin, ayrık nizam binalar arasındaki mesafe 6-8 m arasında kabul edilirken, ahşap yapılar arasındaki mesafe en az 10 m olarak sınırlandırılmaktadır. Bu tür binaların bitişik olan yangın duvarlarının 90 dk. yangın direnimi sağlaması, bölme aralıklarının 40 m’ yi aşmaması ve bunlara ek olarak deliksiz, boşluksuz olması gerekli görülmektedir. NFPA 5000’de yangının tek bir katta çıktığı varsayılarak, binalar arasında yangın riski nedeniyle en az 3 m mesafe bırakılması gerektiği belirtilmektedir. Özellikle yüksek yapılar diğer yapılara göre daha fazla yangın riski barındırdıklarından ayrık nizamda yapılmaları gerekli görülmektedir. Yüksek yapılarla diğer yapılar arasındaki mesafenin en az 10m olması, yangının çevre yapılara sıçramasının önlenmesi açısından önem oluşturmaktadır. Buna ek olarak, yapının tüm cephelerine itfaiye ekipleri sorunsuz bir şekilde erişebilmelidir.

- **Çevre Yapıların Türü**

Çevre yapıların türleri ve tehlike sınıfları binanın cephesinde meydana gelebilecek olası bir yangın sırasında birtakım risklere neden olmaktadır. Yüksek katlı yapılar, endüstriyel tesisler, depolama alanları, akaryakıt istasyonları ve çevredeki tehlike yaratabilecek diğer donatılarda (trafo, elektrik santrali vb.) yangın sırasında patlamalara, zehirli duman ve gaz salınımına neden olarak yangının durdurulamaz boyutlara gelmesine neden olabilir.

- **İklim Koşulları**

Binanın bulunduğu bölgedeki; yağış alma durumu, sıcaklık, güneş ışınlarının geliş açısı, rüzgarın hızı ve yönü gibi iklim koşulları cephede meydana gelen bir yangının hızına ve büyüklüğüne etki etmektedir. Sıcak, yağış almayan ve rüzgarlı bir bölgede iklim koşulları yanmanın gelişimini destekleyeceği için cephede seçilecek olan malzemelerinin yanıcılık özellikleri, önem taşımaktadır. Yükseklik artışıyla doğru orantılı olarak artan rüzgar etkisinden dolayı özellikle yüksek binalarda, alevler ile birlikte yüksek sıcaklık ve basınçtaki gaz ve duman bulutunun da hızlı bir şekilde yayılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yapının bulunduğu konuma ait olan iklim verilerinin analizi, cephede yangın güvenliği açısından ortaya çıkabilecek risklerin ön görülmesi açısından gerekli görülmektedir.

- **Binanın İşlevinin Belirlenmesi Süreci**

Binanın işlevi yangın oluşumu, gelişimi ve yayılımı riskleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle, tehlike sınıfları bina işlevine göre değişmektedir. Binanın işlevi doğrultusunda kat alanlarının büyüklüğü, bina yüksekliği, kullanılan ekipmanlar, kullanıcı yükü ve profili farklı oranlarda yangın riskine neden olmaktadır. Bu nedenle, cephelerde kullanılacak olan malzemeler seçimi sırasında binanın hangi amaçla kullanılacağı önem taşımaktadır. Örneğin, Türkiye BYKHY doğrultusunda binalar işlevlerine göre kullanım sınıflarına ayrılmaktadır, buna göre;

- Konutlar,
- Konaklama amaçlı binalar (oteller, yurtlar vb.),
- Kurumsal binalar (eğitim tesisleri, sağlık hizmeti binaları, tutukevleri, islahatları ve ceza evleri),

- Ofis binaları,
- Ticaret amaçlı binalar,
- Endüstriyel amaçlı binalar (üretim tesisleri, rafineriler, maden işleme tesisleri vb.)
- Toplanma amaçlı binalar (havalimanları, müzeler, sergi alanları, limanlar, eğlence mekânları, ibadethaneler, yeme-içme tesisleri),
- Depolama amaçlı binalar (depolar, otoparklar, vb.),
- Yüksek tehlikeye sahip olan binalar (akaryakıt, LPG, doğalgaz gibi yanıcı, parlayıcılık veya patlayıcılık tehlikesi bulunan maddeleri doldurma-boşaltma veya satış tesisleri ve
- Karma kullanım amaçlı binalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Konut ve konaklama amaçlı binalarda kullanıcı profiline, kullanılan malzeme türü (tekstil ürünleri, mobilya, elektronik aletler vb.) ve yoğunluğuna bağlı olarak yangın riski oranı değişebilmektedir. Bu tür binalarda olası bir yangın durumunda, yangının meydana geliş saati ve kullanıcıların binayı tanıma durumu kullanıcıların can güvenliği açısından risk potansiyeli taşımaktadır. Özellikle, gece saatlerinde meydana gelen yangınlarda genellikle kullanıcıların uyku halinde olması nedeniyle can kaybının arttığı bilinmektedir. Bu nedenle, kullanıcıların binayı tanıma, uyanık ya da uykuda olma, yaş aralığı, engel durumlarının cephe tasarımı ve malzeme seçimi aşamalarında göz önünde bulundurulması önerilmektedir. Kurumsal binalar arasında değerlendirilen sağlık binalarında, mevcut hastaların sağlık durumu olası bir yangın sırasında binadan kaçmak için elverişli olmamaktadır. Örneğin, İstanbul Gaziosmanpaşa Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde 2015 yılında meydana gelen yangının dış cephenin önünde konumlandırılan atık cam kumbaralarında bulunan kağıt malzemelerin tutuşmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Yanıcı özellikteki köpük yalıtım malzemesinin tutuşmasıyla dış cephe kaplamaları boydan boya yanmış ve içerideki hastaların tahliyesi sırasında sorunlar yaşanmıştır. Bu nedenle, bina çevresinde tutuşma potansiyeli bulunan birikintilerin bulunmamasına özen gösterilerek, eğer bulunuyorsa binanın işlevi ve kullanıcı durumu gözetilerek, cephelerde hiç yanmaz malzemelerin kullanımı önerilmektedir. Ofis ve ticaret binaları ele alındığında ise, bu tür binalarda bulunan elektronik cihazlar, kablolar, arşivlerde bulunan materyallerin yüksek yangın yükü oluşturmaktadır. Günün belirli saatlerinde kullanılmasına karşın ofis binalarının artan kullanıcı ve yangın yükü nedeniyle yüksek yangın riskine sahiptir. Endüstriyel binalarda, üretimde kullanılan hammaddeler, kimyasallar ve depolama ürünleri binanın sahip olduğu olası yangın tehlikesini

artırmaktadır. Bu tür binaların cephelerinde meydana gelebilecek bir yangın ilerleyerek, depolama alanlarına veya pencerelerden iç mekânlara ulaşabilmektedir. Bunun sonucunda ise, tehlikeli maddeler veya elektronik cihazlar ile etkileşimleri halinde patlamalara, ortama yayılan yanma ürünlerinin yangının çok daha büyük ölçeklere yayılmasına, zehirli duman ve gaz salınımına yol açabilmektedir. Depolama amaçlı yapılarda, istiflenen malzemeler yanıcılık özelliklerine göre binada yangın riski oluşturabilmektedir. Basınç ve ısı etkisi altında tutuşabilen, patlayıcı veya parlayıcı maddelerin bulunduğu, depolandığı, doldurma-boşaltma veya satış işlemlerinin yapıldığı yerler yüksek tehlike sınıfındaki binalar olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, yüksek tehlike sınıfındaki binaların cephelerinde yangın güvenlik önlemleri kapsamında malzeme seçilirken, yanıcı özellikteki kolay tutuşabilecek malzemelerin seçiminden kaçılması gerekmektedir. Toplanma amaçlı binalar 50 veya daha fazla kişinin bir arada bulunduğu yapıları kapsamaktadır. Kullanıcı yükünün fazla olması nedeniyle, bu yapılar da yangın güvenliği açısından risk barındırmaktadır. Toplanma amaçlı binaların özel işlevleri doğrultusunda cephe sistemlerinin sağlaması gereken performans özellikleri ve yangın güvenlik önlemleri doğrultusunda seçilmesi önerilmektedir.

• Binanın Yüksekliğinin Yorumlanması Süreci

Cephede meydana gelen bir yangın, cephe yüzeyinden ilerleyerek kısa bir sürede üst katlara ve hatta çatıya ulaşma eğilimi göstermektedir. Bina yüksekliği yangının gelişiminde önemli bir risk potansiyeli olarak görülmektedir. Bina yüksekliği arttıkça, cephede meydana gelen bir yangının büyüme ve yayılma hızı da o oranda artış gösterecektir. Son yıllarda yüksek yapılarda meydana gelen yangın olayları değerlendirildiğinde, yangınların facialara dönüşmesinde bina yüksekliği ve cephe malzemeleri arasındaki ilişkinin önemli bir etmen olduğu görülmektedir. Yüksek katlı binalarda yangın söndürme ekipmanları yeterli olamayabilmektedir. Özellikle, 8 – 9 kattan daha yüksek binalarda yangın sırasında kullanıcıların tahliyesine zaman tanımak açısından otomatik söndürme sistemleri veya alarm sistemi kurulmaktadır. Yangın cephelerde dikey yönde ilerleme eğilimi gösterdiğinden, alevlerin ve yüksek sıcaklığın kolayca tutuşturabileceği yüzeylerin sınırlandırılması gerekli görülmektedir. Bu nedenle, bina yüksekliği ve cephelerde yangın güvenliği arasındaki ilişki, ulusal ve uluslararası yönetmelikler tarafından farklı sınır yüksekliklerinde ele alınmaktadır. Yangın güvenli cephe tasarımı kapsamında, yönetmeliklerde belirtilen zorunluluklar Bölüm 3’ te ele alınmaktadır.

Tasarım aşamasında binanın tüm cephelerinde dolu yüzeylerin belirlenerek, bu yüzeyleri oluşturacak olan malzemelerin dikeyde yangının çatıya doğru ilerlemesine

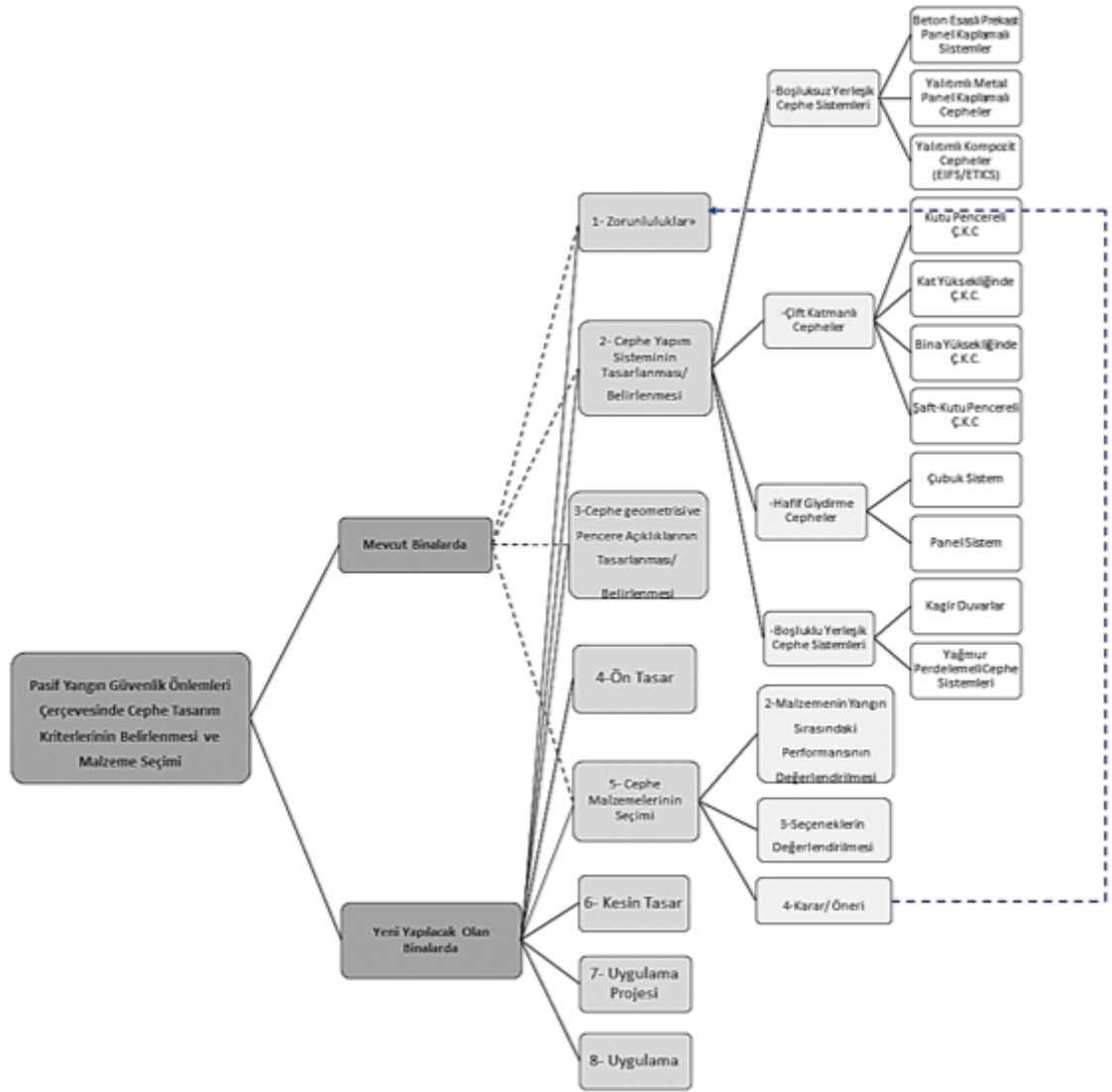
ve diğer cephelere yayılmasına izin vermeyecek şekilde seçilmesi önerilmektedir.

4.2.2 Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Çerçevesinde Cephe Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi ve Malzeme Seçimi Alt Sistemi

Binanın fonksiyonun ve çevre ile olan ilişkisinin analizinin ardından elde edilen sonuçlar ve yönetmeliklerde belirtilen zorunluluklar çerçevesinde cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi alt sistmine geçilmektedir. Bu aşamada yapılar;

- Yeni yapılacak olan yapılar ve
- Mevcut yapılar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır.

Yeni yapılacak olan yapılarda cephe tasarım kriterleri tüm cephelerde ayrı ayrı belirlenmesi ve cephe sistemlerinin önceki analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda öngörülen riskler çerçevesinde belirlenmesi gerekli görülmektedir. Cephe sistemlerinin tüm cephelerde belirlenmesinin ardından, cephe geometrisinin ve cephelerdeki açıklık oranlarının yönetmelikler tarafından belirlenen ölçütler doğrultusunda tasarlanarak olası bir yangından kaynaklar alev ve dumanların yayılma riskinin en az seviyede tutulması önem taşımaktadır. Cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve cephe malzemelerinin belirtilen ölçütler doğrultusunda kararlaştırılmasının ardından ön tasar, kesin tasar ve son olarak uygulama projesi alt süreçleri gelmektedir. Var olan yapılarda ise, cephelerin güncel durumu incelenerek, her bir cephede olası bir yangın sırasında oluşabilecek risklerin analiz edilmesi önem oluşturmaktadır. Mevcut binaların cephelerinde malzeme önerisinin ardından ön tasar, kesin tasar ve uygulama projesi alt süreçleri yer almaktadır. Yangın güvenli cephe tasarımı kapsamında cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve malzeme seçimine ait alt süreçler Şekil 4.6 'da ele alınmaktadır.



Şekil 4.6 Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve malzeme seçimi süreci

4.2.2.1 Zorunlulukların Değerlendirilmesi Alt Süreci

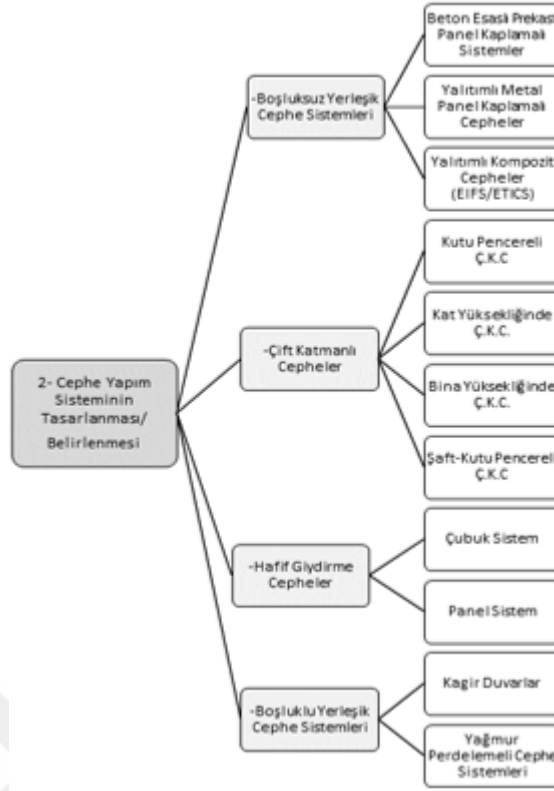
Yapıda malzeme seçimini de kapsayan pasif yangın güvenlik önlemleri sayesinde, cephe kaynaklı olası bir yangın olayında meydana gelebilecek felaketlerin önlenmesi mümkün olmaktadır. Pasif yangın güvenlik önlemleri ulusal ve uluslararası standart ve yönetmelikler kapsamında ele alınmaktadır. Cephelerde uygulanacak olan yangın güvenlik önlemleri her ülkenin kendi standart ve yönetmeliklerine uygun olarak ele alınmaktadır. Yönetmeliklerde cephe malzemeleri ile ilgili belirtilen ölçütler doğrultusunda, yanıcı özellikteki malzemelerin cephelerde kullanımı sınırlandırılmakta ve malzemelerin denetimi sağlanmaktadır. Standart ve yönetmelikler kapsamında, olası bir cephe kaynaklı yangın durumunda meydana gelebilecek olan risklerin en aza indirilerek, binadaki kullanıcıların veya çevrede bulunanların can ve mal güvenliğinin korunması esas alınmaktadır. Öte yandan,

yönetmeliklerde cephe malzemelerinin yanıcılık özellikleri minimum düzeyde tutulmalarına karşın, malzemelerin sahip olması gereken yanıcılık özellikleri ülkelerin yönetmeliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle, malzemenin uygulanacağı bölgede geçerli olan yangın yönetmeliğine ek olarak, diğer geniş kapsamlı yönetmeliklerin de incelenmesi önerilmektedir.

4.2.2.2 Cephe Yapım Sisteminin Tasarlanması/ Belirlenmesi Süreci

Cephe yapım sistemin türü, binada farklı ölçülerde yangın riskine neden olabilmektedir. Binanın türü, fonksiyonu ve kat sayısı gibi etmenler binada uygulanması gereken cephe yapım sisteminde etkili olmaktadır. Tasarım aşamasında, bir önceki adımların uygulaması ile ulaşılan sonuçlardan hareketle yangın güvenliği açısından en uygun cephe yapım sistemine karar verilerek, bu doğrultuda malzeme seçimi aşamasına geçilmesi önerilmektedir. Cephe yapım sistemleri kendi içerisinde alt gruplara ayrılmaktadır. Buna göre, her birinin binada neden olabileceği yangın riskinin ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir (Şekil 4.7).

Binanın cephe yapım sistemleri değerlendirilirken her cephenin ayrı ayrı incelenmesi önerilmektedir. Her cephe sistemi farklı yangın riskleri barındırdığından, cephelerde farklı cephe sistemlerinin uygulanmış olması, olası bir yangın sırasında binada önemli oranda tehlike yaratabilmektedir. Her cephede uygulanan veya uygulanması düşünülen cephe sistemlerinin belirlenmesinin ardından, sistemleri oluşturan katmanlar arasında boşluk olup olmadığının belirlenmesi yangın güvenliği açısından hayati bir öneme sahip olmaktadır. Ayrıca, binanın cephe sistemleri ve çatı sistemi arasında devamlılık olup olmadığı da olası bir yangının cepheden çatıya ilerlemesinde etkili olmaktadır.



Şekil 4.7 Cephe yapım sistemlerinin yangın güvenli cephe tasarımı açısından değerlendirilmesi

4.2.2.3 Cephe Geometrisi ve Açıklıklarının Tespiti Süreci

Tasarım aşamasında cephe yapım sistemine karar verilmesinin ardından cephenin sahip olacağı formun ele alınması önem oluşturmaktadır. Cephe geometrisi yangının yayılmasında önemli bir etmen olarak görülmektedir. Alevlerin cephe yüzeyinde düşey yönde ilerlemesini engellemek amacıyla cephede yüksek katlarda tasarlanacak olan teraslar, balkonlar, güneş kırıcılar vb. elemanlar cephe düzleminde farklılaşmalara neden olarak alevlerin malzemelerin yüzeyi üzerinden ilerlemesini durdurucu özellik göstermektedirler. Genel olarak, yatay ve düşey yönde olmak üzere cephelerde iki tip çıkıntı türü bulunmakta ve alt katlarda oluşan alev dilinin üst katlardaki cephe kaplamalarına ve pencere açıklıklarına ulaşmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Pencere açıklıklarının hemen üstünde konumlandırılabilen yatay yöndeki çıkıntılara balkonlar ve güneş kırıcı gölge elemanları örnek verilebilmektedir. Düşey yönde konumlandırılan çıkıntılar ise, spandrel ile benzer şekilde çalışmaktadır. Yatay yönde konumlandırılmış ve yanmaz malzemeden üretilmiş olan bir panel alev saptırıcı olarak işlev görecektir. Cephe yüzeyine yangın durdurucu yatay bariyerlerin uygulanması veya cephede dolu yüzeylerin sürekli olarak devam etmeyecek şekilde tasarlanması cephe yüzeyinde kesintiye neden olarak alev dilinin dikey yönde ilerlemesini sınırlayıcı özellik gösterecektir.

Öte yandan, döşemelerin yangınla olan ilişkisinin önlenmesi de cephede yangın güvenliği açısından hayati öneme sahiptir. Döşeme bağlantı detaylarının yanmaz malzeme ile kapatılması yangının döşeme ve dış duvar arasındaki boşluklardan iç mekana sıçramasını engelleyecektir.

Bir diğer önemli nokta ise, cepheye sabitlenmiş olan balkonlarda, PV panellerde veya aydınlatma elemanlarında kullanılan yanıcı özellikteki bir malzeme tutuşmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle, cepheye sabitlenmiş olan tüm dış duvar elemanlarının yanıcılık özelliklerinin kontrol edilmesi önerilmektedir.

Pencere açıklıklarının artması, iç mekânda meydana gelen bir yangının, artan sıcaklık ve basınç nedeniyle, basıncın daha düşük olduğu dış ortama doğru geçmesine neden olacaktır. Yangını oluşturan alev dili ise, yangının meydana geldiği alt katlardaki pencere açıklıklarından üst katlardaki pencere açıklıklarına sıçrayarak (leap-frogging) yangının üst katlara doğru düşey yönde ilerlemesine neden olmaktadır. Bu nedenle, cephede bulunan pencere açıklıklarının ölçüleri ve yerleşimleri de alevlerin ilerlemesinde etkili olmaktadır. Cam malzemenin yüzeyinde sıcaklık ve basınç arttıkça alevler yüzeyden geçmeye başlayacak ve camın patlamasına neden olacaktır. Özellikle, giydirme cam cephelerde ve cephesi camdan oluşturulmuş yüksek katlı yapılarda pencere açıklıkları yangın güvenliği açısından risk yaratmaktadır. Yangının cephe yüzeyinden katlar arasında yayılmasını engellemek ve sınırlandırmak amacıyla pencere açıklıkları arsında yangına dayanımlı bölmeler tasarlanması önerilmektedir. 100 – 150 cm arasındaki yüksekliklerde spandrel oluşturularak elde edilen yangına dayanımlı bölmeler yangının cephede ilerlemesini belirli bir oranda engellemektedir. Yangının yüksek yapıların cephesinde meydana gelmesi durumunda deformasyona uğrayan, yüzeyden kopan, kırılan cephe bileşenleri ya da malzemeleri alt katlardaki kullanıcıların ve itfaiye personellerinin can güvenliği açısından risk yaratabilmektedir. Bu nedenle, özellikle yüksek yapıların cephelerinde ek yangın güvenlik önlemi olarak yağmurlama sistemlerinin kullanımı da gerekli görülmektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Cephe yapım sistemlerinin yangın güvenli cephe tasarımı açısından değerlendirilmesi

Cephe Yapım Sistemi	Yangın Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi
A-) Boşluklu Yerleşik Cephe Sistemleri	Katmanlar arasında bulunan hava boşluğu yangın sırasında baca etkisi göstererek alev ve dumanın yukarı yönde ilerlemesine neden olabilmektedir. Buna ek olarak, katmanlar arasındaki boşluğun kapalı bir sistemde yer alması yangının tespit edilmesini zorlaştırabilmektedir.
-Yağmur Perdelemeli Cephe Sistemleri	Bu sistemde kullanılan, dış duvar kaplama malzemesi ve hava boşluğuna yalıtım amacıyla kullanılan malzemenin yanıcı özellik göstermesi durumunda yangın tehlikesi yaratabilmektedir. Buna ek olarak panellerin metal kompozit paneller gibi yanıcı özellikteki malzemeden üretilip üretilmediğine dikkat edilmesi gerekli görülmektedir.
-Kagir Duvarlar	Kagir duvar sisteminin arkasında yer alan yalıtım malzemelerinin yanıcı özellikte olması durumunda sistem yangın güvenliği açısından risk yaratabilmektedir.
B-) Boşluksuz, Yerleşik Cephe Sistemleri	Cephe kaplama ve yalıtım katmanlarında kullanılan malzemelerin yanıcılık ve yangın yayıcılık özellikleri yangın güvenliği riskinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.
-Beton Esaslı Prekast Panel Kaplamalı Sistemler	Prekast panellerin arkasına sabitlenen veya panellerle döşeme arasında kullanılan yalıtım malzemelerinin özellik göstermesi yangın riskine neden olabilmektedir.
-Yalıtımlı Metal Panel Kaplamalı Cepheler	Metal levhalar arasında yalıtım işlevi gören dolgu malzemeleri (özellikle köpük yalıtım malzemeleri) son derece yanıcı malzemeler olmaları nedeniyle yapıda yangın tehlikesi yaratmaktadır.
-Yalıtımlı Kompozit Cepheler (EIFS/ETICS)	Dış duvarda kullanılan katman sayısının fazla olması yangın oluşma ve yayılma riskinin artmasına neden olabilmektedir. Katmanları oluşturan malzemelerin yanıcılık ve yangın yayıcılık özelliklerinin ayrı ayrı ve bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir.
C-) Çift Katmanlı Cepheler	Çift katmanlı cephe sistemlerinde katmanlar arasında yer alan hava boşluğu ve kullanılan malzemelerin yangın direnirlik özellikleri yangın güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Katmanlar arasında bulunan hava boşluğu baca etkisi göstererek alev ve dumanların yukarı yönde hızlıca yayılmasına ve iç mekana sızmasına neden olabilmektedir.
- Bina Yüksekliğinde Ç.K.C.	Birbirine paralel olarak, binanın tüm katları boyunca yerleştirilmiş olan cam katmanlar yangın sırasında alevleri dışarı sızdırabilmekte veya patlayabilmektedir. Ayrıca tüm cephe yüzeyi boyunca kesintisiz olarak devam eden hava boşluğu yangın sırasında baca işlevi göreceği için bu sistem yangın güvenliği açısından yüksek tehlikeye sahip olmaktadır.

Tablo 4.1 Cephe yapım sistemlerinin yangın güvenli cephe tasarımı açısından değerlendirilmesi (devamı)

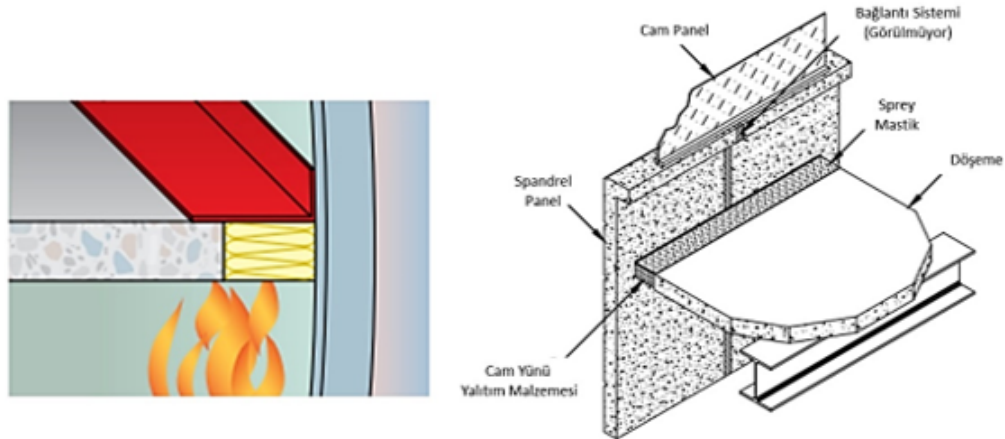
- Kat Yüksekliğinde Ç.K.C.	Kat yüksekliğinde bulunan hava boşluğu bulunduğu katta yangın riskine neden olabilmektedir.
-Şaft Kutu Pencereci Ç.K.C.	Şaft kutu pencere sisteminde pencere genişliğinde belirli katlar boyunca uygulanmakta olup, yangın sırasında dikey yönde baca etkisine neden olabilmektedir. Bu nedenle, devam ettiği katlar boyunca sistem yangın riski yaratmaktadır.
-Kutu Pencereci Ç.K.C.	Kat yüksekliğinde ve pencere genişliğinde uygulanan bir sistem olması nedeniyle, diğer çift katmanlı cephe sistemleri ile karşılaştırıldığında daha az yangın riskine neden olduğu söylenebilmektedir.
D-) Hafif Giydirmce Cepheler	Yangın sırasında iç hacimde bulunan alev ve gazlar cephede bulunan boşluklardan dışarı sızabilmektedir. Buna ek olarak, yüksek sıcaklıktaki gaz kütlesi ve sıcaklık radyasyon yoluyla üst katlara taşınarak yangının hızla yukarı yönde yayılmasına neden olabilmektedir.
- Çubuk Sistemi (Stick S.)	Sistemin tüm bina yükseliğinde uygulanması durumunda kaplama elemanı olarak görev yapan cam malzemeler yüksek sıcaklık altında eriyebilmekte ve yüksek basınçla birlikte patlayabilmektedir. Bu nedenle, yangın güvenliği açısından riskli olarak görülmektedir. Ayrıca, opak spandrellerde kullanılan yalıtım malzemelerinin yancılık özelliklerinin kontrol edilmesi önerilmektedir. Buna ek olarak spandrel panelin önünden metal kompozit malzeme kullanılması durumunda da yüksek yangın riski oluşabilmektedir.
-Panel Sistemi (Unitized S.)	Çubuk sisteminde olduğu gibi, opak spandrel panellerin önünden metal kompozit panel kullanımı veya spandrel bileşenlerinde yancılık özellikte yalıtım malzemesinin kullanımı yangın tehlikesine neden olabilmektedir.

4.2.2.4 Cephe Türüne Göre Ara Malzeme veya Yangın Durdurucularının Seçim Süreci

Cephe sistemi ile ilgili olarak ana tasarım kararlarının alınmasının ardından, sistemin nasıl çözüleceği ve sistemin uygulama detaylarının yangın ile ilişkisinin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır. Bölüm 2’de belirtilen cephe sistemlerinin sahip oldukları yangın riskleri ele alınarak, cephede uygulanmak üzere seçilen veya var olan cephe sisteminin uygulama nokta detayları ve bu noktalarda meydana gelebilecek riskler doğrultusunda yangın güvenlik önlemleri alınması olası bir yangının katmanlar arasındaki yayılma riskini en aza indirecektir. Cephede kullanılacak olan malzemelerin yangın direnir özellikli olmasının yanı sıra malzeme grupları ve diğer cephe bileşenlerinin de yangın durumundaki davranışlarının

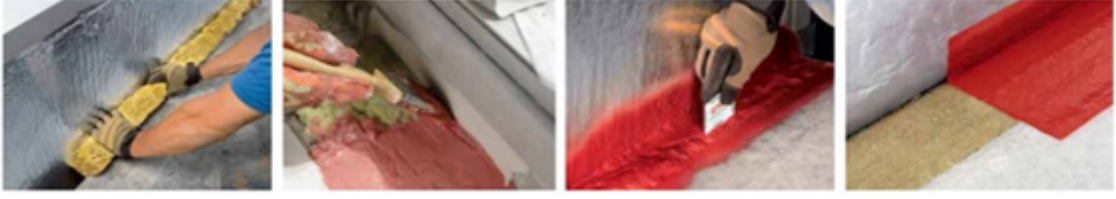
irdelenmesi gerekmektedir. Cephe boşlukları, malzeme ve bileşenlerin uygulama detayları, katlar arasında boşluklar cephede yaşanan bir yangın sırasında alev ve dumanların iç mekânlara sızmasına ve/veya hızlı bir şekilde tüm cephe boyunca yayılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, cephe sistemlerinin ve malzemelerin noktasal bağlantı detaylarının olası bir yangın durumunda katmanlar arasında alev ve duman yayılımını sınırlandırmak amacıyla yangın güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir [49, 187].

Giydirme cephe sistemlerindeki kaplama panelleri, döşemeler ve alüminyum doğrama profilleri arasındaki bağlantı noktalarının yangın sırasında alev dumanın katmanlar arasında sızdırmaz özellikte olması gerekmektedir. Katmanların dış etkenlere açık olduğu derzli giydirme cephelerde, olası bir yangın durumunda alev ve dumanın cephe bileşenleri arasından hızlı bir şekilde ilerleme olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle, giydirme cephe sistemlerinde döşeme ve cephe kaplama panellerinin birleştiği noktalarda spandrel tasarlanması giydirme cephelerde yangın güvenliği kapsamında alınacak önlemlerin başında gelmektedir (Şekil 4.8).



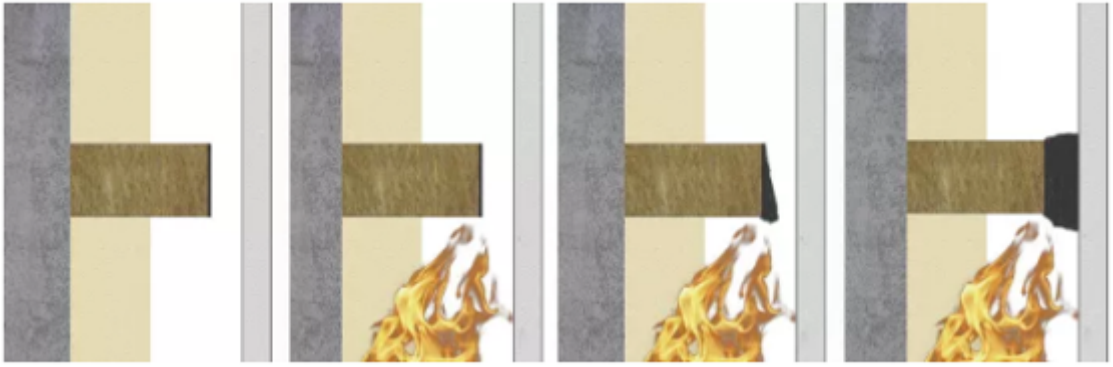
Şekil 4.8 Cephe boşluklarında kaplama malzemesi ve döşeme birleşim noktalarında spandrel uygulaması [188]

Dilatasyon, katmanlar arasında boşluk (boşluklu yerleşik cephe sistemleri, çift katmanlı cepheler veya giydirme cepheler) veya dinamik derzlerin bulunduğu kompozit cephe sistemlerinde ise, yangının boşluklar arasından yayılmasını önlemek amacıyla bağlantı noktalarında intümesan özellikteki mastik elemanların kullanılması önerilmektedir (Şekil 4.9).



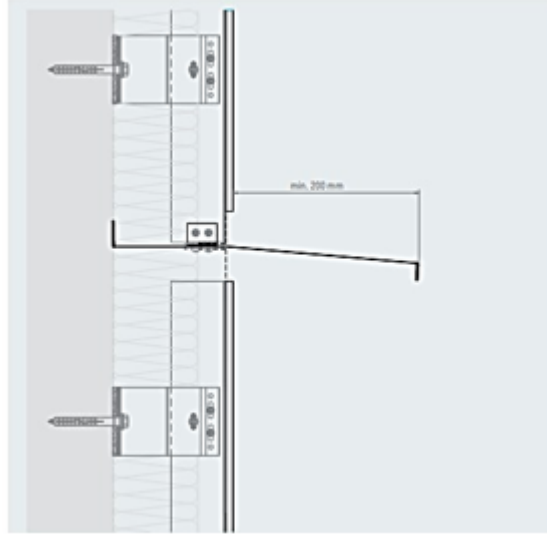
Şekil 4.9 Spandrel uygulamasında kullanılan katmanlar [84]

Sprey veya bant şeklinde uygulanabilen intümesan özellikteki mastik elemanlar yangın sırasında artan sıcaklıkla aktifleşip, kabarak boşlukları kapatmakta ve yangın sırasında oluşabilecek baca etkisini önlemektedir. Şekil 4.10’ da dinamik derzlerin yalıtılması amacıyla döşeme ve cephe kaplama panelleri arasındaki spandrel sistemi ve spre mastik uygulaması gösterilmektedir [188].



Şekil 4.10 İntümesan özellikteki mastik elemanların yangın sırasında çalışma mekanizmaları [188]

Cephelerde yangın güvenliği kapsamında alınabilecek bir diğer önlem ise yatay yangın bariyerleridir. Özellikle çok katmanlı cephe sistemlerinde yangının katmanlar arasında ilerlemesini engellemek amacıyla yalıtım ve son kat malzemeleri arasında kullanımı gerekli görülmektedir. En az 1 mm kalınlığındaki bariyerlerin, yatay düzlemde dışarı doğru en az 20 cm çıkma yaparak, cephe boyunca kesintisiz olarak uygulanması yangının cepheden içeri doğru ilermesini sınırlandırmada önem oluşturmaktadır. Şekil 4.11’de yatay yangın bariyeri uygulaması verilmektedir.



Şekil 4.11 Yatay yangın bariyeri detayı [187]

Cephede yangının çıktığı noktadan ilerleyen alev ve dumanlar öncelikle düşey yönde yanıcı özellikteki yüzeyleri tutuşturarak, döşemeler üzerindeki boşluklar ve yatay yöndeki duvarlarda yer alan boşluklardan ilerleme eğilimi göstereceğinden tasarım aşamasında, bu noktalarda yangın yönlendirici elemanlar tasarlanması önerilmektedir. Yangının cephede katlar arasında yayılmasını engellemek amacıyla yanmaz malzemeler kullanılarak üretilmiş güneş kırıcılar, balkonlar veya döşeme çıkmaları bu elemanlara örnek olarak verilebilmektedir.

4.2.2.5 Ön Tasar Süreci

Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında cephe tasarımı ve malzeme seçimi alt sisteminin dördüncü adımını ön tasar süreci oluşturmaktadır. Yapının biçimleniş aşaması olan ön tasar süreci, biçim arayışları ve biçimi sağlayacak ürün araştırması ile ilerlemektedir. Bina cephelerinde uygulanması ön görülen cephe yapım sistemlerinin ve bileşenlerinin ilişkilendirilmesi ve birlikte çalışma mekanizmalarının yangın güvenli yapı tasarımı çerçevesinde değerlendirilmesi ön tasar sürecinde gerçekleşmektedir. Bu aşamada; malzeme, tasarım ve maliyet analizi yapılarak, sistemin uygulanabilirliğinin araştırılması gerekli görülmektedir. Buna ek olarak, malzeme veya cephe yapım sisteminde görülen bir olumsuzluk durumunda sistemin önceki süreçlerine geri dönülerek, kesin tasar sürecine geçilmeden hata ve eksikliklerin giderilerek sistemin denetlenmesi önem taşımaktadır.

4.2.2.6 Cephe Malzemelerinin Seçimi Süreci

Yangın güvenli cephe tasarımı cephe yapı sistemi ve malzeme seçiminin doğrudan bir ilişkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, tasarım aşamasıyla eş zamanlı olarak malzeme seçiminin de ele alınması önem oluşturmaktadır. Süreç, önceki adımlardan binaya ilişkin olarak elde edilen veriler ve malzemelerde beklenen performans ölçütleri gözetilerek seçeneklerin bir araya getirilmesi ve içlerinden istenen ölçütlere en yakın olan malzemenin seçimi olarak tanımlanabilmektedir. Malzeme seçimi sırasında uygulanacak olan alt süreçler;

- Zorunluluklar,
- Seçeneklerin araştırılarak bir araya getirilmesi ve
- Karar veya öneri olarak sıralanmaktadır.

Yeni yapılan bir projede cephede kullanılacak olan malzemeye karar verilirken, mevcut bir binanın cephesine yangın güvenli cephe tasarımı çerçevesinde önlem alınması gerekli görülüyorsa öneri getirebilmektedir.

• Malzeme Araştırması ve Seçeneklerin Değerlendirilmesi Alt Süreci

Yapı ürünlerinin seçimi tasarım aşamasında gerçekleştirilmekle birlikte yapının kullanım ömrü boyunca uygulanacak olan değişikliklerde ve onarımlarda da ihtiyaç duyulabilmektedir. Yapıda öge düzeyinde yapılan malzeme seçiminde kullanılacak öğelerin nitelikleri, performans özellikleri, estetiği, maliyeti ve miktarı önemli olmaktadır [21]. Cephe malzemelerinin seçimi ile ilgili, yangın güvenli yapı tasarımı kapsamındaki ilgili yönetmeliklerde belirtilen ölçütlere uygun olan malzemelerin araştırılarak, değerlendirilmesi gerekmektedir. Malzeme araştırması sırasında:

- Yapı malzemeleri kataloglarından,
- Firmaların hazırladığı ürün tanıtım broşürlerinden,
- Piyasa araştırmalarından,
- Firmaların ürünlerini tanıttığı internet sitelerinden,
- Fuarlardan,
- Firma yetkilileri ile yapılan görüşmelerden,

- Önceki çalışmalardan ve
- örneklerden yararlanılabilmektedir [189].

Tasarım aşamasında malzemelerin türünün mahal listesinde belirtilmesinin ardından, araştırmanın daha detaylı ve etkin yürütülebilmesi açısından malzemenin ölçülerinin, renginin, üretici firmasının, birim maliyetinin ve performansının (yangın güvenliği, sürdürülebilirlik, dayanıklılık vb.) da belirlenmesi önem oluşturmaktadır. Araştırmalar sırasında malzeme seçimi ile ilgili belirlenen ölçütlerin bir çizelge haline getirilerek önem sırasına göre ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Malzeme araştırmaları sırasında dikkat edilmesi gereken ölçütler;

- Mahal listesine, şartnameye ve tasarıma uygunluk,
- Standart ve/veya yönetmeliklere uygunluk,
- Performans özellikleri (alevlere karşı dayanımı, mekanik etkilere karşı direnç, su ve neme dayanım, sürdürülebilirlik, uzun ömürlülük vb.),
- Akredite kurumlar tarafından belirli performans özelliklerine göre laboratuvar ortamında test edilip onaylanmış olması ve raporlarının incelenmesi
- Maliyeti,
- Tedarik etme kolaylığı,
- Uygulama alanının üretim kaynaklarına yakınlığı,
- Daha önce uygulanmış örneklerin olup olmadığı,
- Uygulama kolaylığı,
- Estetik beklentilerini karşılama,
- Bakım ve onarım gerekliliği olarak sıralanabilmektedir.

Malzeme değerlendirme çizelgesinde belirtilen ölçütlere ek olarak, malzemelerin güvenlik ölçütlerini içeren bir formun da hazırlanması gerekmektedir. Buna göre, malzemelerin,

- Yapıda yangın güvenliği açısından riskli olup olmadığı (yanma sınıfı, zehirli duman ve gaz salınımı, yanıcılık özellikleri ve yangın direnimi)

- İçerisinde insan ve sağlığı açısından herhangi bir zararlı madde bulundurup bulundurmadiğı,
- Enerji tüketimi,
- İş güvenliği riski bulundurup bulundurmadiğı,
- Kullanım ömrü boyunca riskli atık oluşturup oluşturmadiğı üretici firmalardan tarafından hazırlanan malzeme güvenlik bilgi formunda kontrol edilmelidir. [189].

Araştırmaların tamamlanmasının ardından, elde edilen verilerin önem derecelerine göre sıralanması gerekli görülmektedir. Çizelgedeki tüm değişkenlerin önem sırasına göre değerlendirilmesi önem oluşturmaktadır. Örneğin, maliyeti düşük olan bir malzeme kullanım ömrü boyunca bakım ve onarım gerektirebilir ve bu durum da uzun sürede maliyetin artmasına neden olabilmektedir. Malzemelerin estetik özellikleri, maliyeti, uygulama, bakım ve onarım kolaylığı gibi değişkenlerin sıralamada önem kazanması ve malzemenin yangın performansının geri plana itilmesi binadaki cephelerde yangın riskine yol açabilmektedir.

• Öneri/Karar Alt Süreci

Seçenekelerin biraraya getirilerek, önem sırasına listelenmesinin ardından öneri/karar alt süreci gelmektedir. Malzeme araştırmaları sırasında hazırlanan çizelgeler değerlendirilirken istenen özelliklere en uygun malzemenin seçilmesi önem taşımaktadır. Önceki adımlarda elde edilen veriler kapsamında, görülen riskler doğrultusunda olası bir yangın durumunda can ve mal kaybına yol açabilecek her türlü malzemenin sıralamada elenmesi gerekmektedir. Özellikle, yüksek yapıların cephesinde yanmaz malzemelerin kullanımı gerekli görülmektedir. Buna ek olarak, malzeme seçiminin ardından sipariş aşamasına geçilmeden önce, keşif ve metrajlar incelenerek gerekli olan miktar fire oranı da dahil edilerek hesaplanmalıdır.

4.2.2.7 Kesin Tasar Süreci

Ön tasar ve malzemelerin araştırılarak seçeneklerin değerlendirilmesi süreçlerinin ardından, uygulanacak olan malzeme ve bileşenlere karar verilmesi amacıyla kesin tasar sürecine geçilmektedir. Kesin tasar sürecinde ise, yapı ürünleri gereksinimler ve biçim doğrultusunda seçilmektedir. Kesin tasar sürecinde malzeme ve bileşenler yangın güvenli yapı tasarımı çerçevesinde yetkili kişi (mimar, mühendis) ve kurumlar (danışmanlık ofisleri) tarafından kontrol edilerek bir sonraki süreç olan uygulama projesi sürecine geçilmesine onay verilmesi gerekmektedir.

4.2.2.8 Uygulama Projesi Süreci

Kesin tasar sürecinde uygulanmasına karar verilen cephe malzemelerinin uygulanmasına ilişkin olarak uygulama projesi hazırlama sürecine geçilmektedir. Uygulama projelerinde, cephe sistemlerinin detay çizimleri hazırlanarak, sistemi oluşturan bileşenlerin bağlantı detayları oluşturulmaktadır. Buna göre, malzeme gruplarının ve cephe sistemlerinin birbirleri ile olan bağlantıları ve çalışma mekanizmalarının 1/1, 1/5, 1/10 veya 1/20 ölçekli nokta detayları çizilir. Detay çizimlerinde, cephe sistemini oluşturan elemanların döşeme ve cephe malzemeleri ile olan bağlantılarının cephede olası bir yangın sırasında, alev ve dumanların sızmasına neden olmayacak şekilde tasarlanıp tasarlanmadığının denetlenmesi önem oluşturmaktadır. Uygulama projesinde yangın güvenliği açısından riskli bir durum tespit edilmesi halinde, ön tasar sürecine geri dönülerek, projenin yeniden ele alınması gerekmektedir.

4.2.2.9 Uygulama Süreci

Uygulama projesinin onaylanmasının ardından, seçilen malzemelerinin cepheye uygulanması sürecine geçilmektedir. Yangın güvenliği, tasarım ve malzeme özellikleri ile ilgili olduğu kadar uygulama yöntemleri ile de yakından ilişkilidir. Uygulama sürecindeki adımlar;

- İhtiyaç programının hazırlanması,
- cephe sistemi ve malzemelerin uygulanacağı alanda durum tespiti yapılması,
- Şantiyeye hazır duruma getirilmesi ve gerekli izinlerin alınması,
- Alanda çalışacak olan elemanların belirlenmesi,
- Uygulama sırasında kullanılacak olan iş makineleri, araçları ve ekipmanların temini,
- Şantiyede üretilecek olan malzemeler için kurulması gereken sistemlerin ve yerlerinin belirlenmesi,
- Başka bir üretim merkezinden veya depodan getirilecek olan malzemelerin uygulama alanına nakliyesi,
- Malzeme stoğu için uygun alan seçimi,
- Malzemelerin belirlenen alanlara istiflenmesi (zarar görmeyecek şekilde korunması),

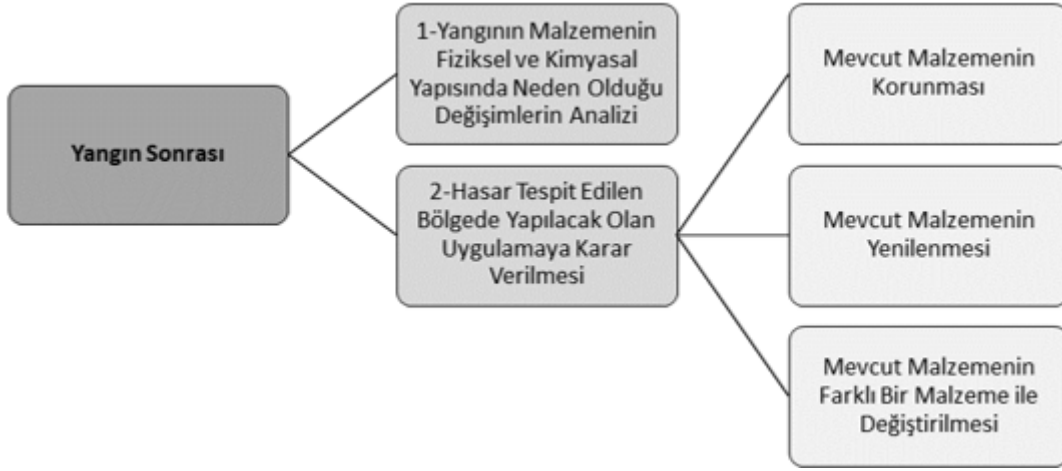
- Cephe sistemine malzemelerin uygulama projesi kapsamında, bir uzman kontrolünde (uzman mimar veya mühendis) cepheye montajı ve
- Sistemin denetlenerek, onaylanması olarak sıralanabilmektedir.

4.2.2.10 Denetleme Süreci

Malzeme seçimi ve uygulama süreçlerinin ardından, yapının kullanım ömrü boyunca belirli periyotlarla denetlenme süreci gelmektedir. Cephe bileşenlerinin yapısında meydana gelebilecek herhangi bir hasar olası bir yangın sırasında alev ve dumanların hasarlı bölgelerde oluşan düzensiz yapıdan dolayı katmanlar arasından sızarak cephe boyunca ilerlemesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, denetleme sürecinde yapıya uygulanmış olan cephe sistemlerinin, malzeme gruplarının, birleşim detaylarının veya diğer elemanların yangın sırasındaki davranışlarını ve yapının yangın güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek olan durumların tespiti yapılmalıdır. Olası bir sorun kontrollü bir şekilde düzeltilerek yapıda yangın güvenliğinin sürdürülmesi sağlanmalıdır. Uygulanan cephe sistemi ve malzemelerin kullanım ömürlerini etkin ve sorunsuz bir şekilde tamamlamaları iç ve dış ortam koşulları, sistem ve detay tasarımlarına, malzemenin performans özelliklerine ve tüm bileşenlerin birbiriyle sorunsuz bir şekilde çalışmasının denetlenmesine bağlıdır. Denetleme sürecinde, konu hakkında uzman olan ve yapıda yangın güvenliği kapsamında resmi kurum ve kuruluşlar tarafından denetleme yetkisi verilmiş olan mimar ve mühendisler görev almalıdır.

4.3 Yangın Sonrası Sistemi

Yangın öncesi alt sisteminde belirtilen yönergelerin uygulanmasının ardından, yangın güvenliği ve diğer ölçütleri karşılayan malzemenin yapıda yangın riskine neden olmadığına karar verilip, uygulanmasıyla birlikte malzeme hizmet ömrü boyunca kullanabilmektedir. Öte yandan, cephede meydana gelebilecek olası bir yangın durumunda, cephe kaplama sistemlerini oluşturan bileşenlerin denetlenmesi ve yangının malzeme üzerinde meydana getirdiği değişimlerin incelenmesi ve sistemin geriye dönük olarak değerlendirilerek hedefe ulaşp ulaşmadığının tespiti yangın sonrası alt sisteminde gerçekleşmektedir. Yangın sonrası alt sisteminde, yangının malzemenin yapısında neden olduğu fiziksel ve kimyasal değişimler tespit edilerek, malzemenin yapısında yol açtığı hasar sonucunda uygulanması gereken adımlar ve modelin denetlenmesi süreçleri yer almaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Yangın sonrası alt sistemi

4.3.1 Yangının Malzemenin Fiziksel ve Kimyasal Yapısında Neden Olduğu Değişimlerin Analizi Alt Sistemi

Yangın olayı kimyasal bir tepkime olması nedeniyle, malzemenin yapısında kalıcı değişiklikler meydana getirebilmektedir. Yangın sırasında, açığa çıkan ısı enerjisiyle birlikte, malzemelerin yapısını oluşturan atomların titreşim hareketi yapmaya başlaması, atomlar arası bağların uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, malzemelerin yapısında ergime, yumuşama ya da genleşme meydana gelebilmektedir. Yangın sırasında her malzemenin yapısında farklı fiziksel ve kimyasal değişimler gözlemlenmektedir. Genel olarak yapıda kullanılan malzeme türleri:

- Metal ve taşlar (kristal yapılı),
- Ahşap ve plastikler (amorfor yapılı),
- Beton ve seramik (karma yapılı) olarak sıralanabilmektedir.

Metal malzemeler yüksek sıcaklıkta genleşmekte ve ısının daha da artmasıyla birlikte eriyik malzemeler damlayabilmektedir. Bu nedenle metal malzemeler cephe kaplamalarında yangın güvenliği açısından riskli malzemeler olarak görülmektedir. Doğal ya da yapay taşlar yangına direnimli, A sınıfı yanmaz malzemeler olarak yorumlanmaktadır, ancak ani ısı artışları sonucunda taşın yapısında parçalanmalar gözlemlenebilmektedir. Ahşap yapısı itibarıyla yanıcı bir malzemedir. Öte yandan, ahşap malzemenin yanmasıyla dış çeperinde oluşan karbon tabakası yanma tepkimesinin malzemenin iç kısımlarına ilerlemesini engelleyebilmektedir. Plastikler yangın güvenliği açısından son derece riskli malzemeler olarak görülmektedir. Cepheelerde plastik malzeme kaplama veya yalıtım amaçlı olarak kullanılabilir. Cepheye çıkan yangınların büyümesine genellikle plastik esaslı malzeme kullanımının

yol açtığı görülmektedir. Plastik kolay tutuşabilen bir malzeme olması nedeniyle, cephede yangının hızla yukarı yönde ilerlemesine, çevre yapılara yayılmasına neden olmaktadır. Beton malzeme ise A sınıfı yanmaz malzeme olarak değerlendirilmektedir.

Dış duvarda kaplama amacıyla beton panel sistemleri kullanılabilir. 500 C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde betonun yapısında bozunmalar meydana gelmektedir. Beton malzemenin iç ısı yükseldikçe malzemenin iç yapısında kristal halde bulunan su buharlaşarak gerilmelere ve çatlaklara neden olmaktadır.

Yangın kaynaklı malzeme yapısında meydana gelen; soyulma, korlaşma, parçalanma, kabarma, kopma, ergime ve damlama gibi fiziksel ve kimyasal değişimlere ek olarak, performans kayıpları veya tamamen kullanılamaz duruma gelmesi gibi olumsuzluklar da görülebilmektedir. Mevcut binalarda, yangın sonrasında cephelerin ve cephelerde kullanılan malzemelerin yapısında meydana gelen değişimlerin analiz edilerek, durum değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Bazı cephe yapım sistemleri yangın sırasında kapalı bir şaft veya baca görevi görebilmektedir. Bu nedenle, yangının gizli bir şekilde devam etme riskine karşı tüm cepheler detaylı olarak incelenmelidir. Yangın sonrasında, itfaiye ekipleri tarafından yürütülen soğutma işlemlerinin ardından, bölgesel olarak, işlevini yerine getiremeyecek durumda olan veya performans kaybı görülen malzemelerin cephelerden sökülmesi ve hasarlı bölgelerin temizlenerek yeni malzemelerin uygulanması gerekmektedir. Yangın sırasında, malzeme cephede önemli değişimlere yol açmış ve yangının büyümesine katkıda bulunmuş ise, riskli malzemelerin tüm cephelerde sökülerek, yangın öncesi alt sisteminde yer alan malzeme seçiminde zorunluluklar alt sürecine geri dönülerek, bu başlık altında ve devamında yer alan ölçütler doğrultusunda yeni malzeme seçimi yapılması önerilmektedir.

Yangın sonrasında cephede hasar tespit edilen bölgede, malzemelerin durumu değerlendirilirken dikkate alınması gereken ölçütler;

- Yangın sırasında malzemenin yangının gelişimine katkı sağlayıp sağlamadığı,
- Cephede meydana gelen bir yangının dış mekandan bağlantı detaylarından iç mekana sıçrayıp sıçramadığı ve iç mekanda oluşan bir yangının pencere boşlukları veya döşeme ile cephe sisteminin bağlantı detaylarından sıçrayıp sıçramadığı,
- Malzemelerin fiziksel veya kimyasal yapısında değişiklik olup olmadığı,
- Yanma sırasında malzemenin deformasyona uğrayarak binada bulunan kullanıcıların veya çevredekilerin can ve mal güvenliğini tehdit edebilecek

davranışlar (akma, damlama, kopma, zehirli gaz salınımı vb.) gösterip göstermediği,

- Yangın sonrasında malzemede performans kaybı olup olmadığı,
- Malzemenin yapısında meydana gelen hasar oranı ve hasar sonucunda ortaya çıkan mali kayıp oranı olarak sıralanmaktadır.

Malzemenin yapısında meydana gelen olumsuzluklar değerlendirilirken bahsedilen ölçütlerden birkaçının meydana gelmesi durumunda model hedefe ulaşamamış sayılmaktadır. Modelin başarılı sayılabilmesi açısından malzemelerin yangın sırasında cephede risk kaynağı oluşturmaması ve kullanıcıların can ve mal güvenliğini tehdit edebilecek bir davranış sergilememesi gerekmektedir.

4.3.2 Hasar Tespit Edilen Bölgede Yapılacak Olan Uygulamaya Karar Verilmesi Alt Sistemi

Yangın sonrası alt sistemlerinin son sürecini hasar tespiti ve hasar tespit edilen bölgede yapılacak olan uygulamaya karar verilmesi aşamaları oluşturmaktadır. Yangın sonrasındaki süreçte aynı zamanda, modelin başarısını denetlemek amacıyla, malzemenin yangın sırasındaki davranışlarının irdelenerek uygulamanın son aşamasında modelin hedefe ulaşp ulaşmadığının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Cephede kullanılan malzemelerin yangın performansı modelin hedefe ulaşması konusunda önem taşımaktadır.

Yangın sonrasında cephede hasar tespit edilen bölgede yapılabilecek üç tür uygulama önerisi bulunmaktadır. Bunlar:

- mevcut malzemenin korunması,
- mevcut malzemenin yenilenmesi,
- mevcut malzemenin farklı bir malzeme ile değiştirilmesi olarak sıralanabilmektedir.

4.3.2.1 Mevcut Malzemenin Korunması Süreci

Yangın sonrası yapılan cephe hasar tespiti çalışmalarında, mevcut malzemenin yapısında herhangi bir hasar bulunmuyor ise malzemenin kullanımına devam edilmesi önerilmektedir. Yangının cephede ilerlemesi ve gelişmesini sınırlandırıcı özellik gösteren malzemeler modelde yangın performansı açısından başarılı sayılmaktadır.

4.3.2.2 Mevcut Malzemenin Yenilenmesi Süreci

Cephede kullanılan mevcut malzeme, yangın sırasında yangının ilerlemesine ve gelişmesine katkı sağlamayıp, hafif ölçüde zarar gördü ise yenilenmelidir. Zarar gören mevcut malzeme yerinden sökülerek, bağlantı elemanlarının ve bağlantı noktalarının yangın sırasında nasıl ve ne ölçüde zarar gördüğü değerlendirilmelidir. Malzemenin söküldüğü bölge is ve diğer yangın ürünlerinden temizlendikten sonra yeni malzeme cepheye uygulanmalıdır.

4.3.2.3 Mevcut Malzemenin Farklı Bir Malzeme ile Değiştirilmesi Süreci

Yangın sırasında mevcut malzemenin yangının yayılmasına ve gelişmesine katkıda bulunduğu gözlemlenmiş ise malzeme yapıda yangın güvenliği açısından son derece riskli olarak kabul edilmektedir. Bu durumda, cephede kullanılan mevcut malzemenin acil olarak farklı ve yangın performansı yüksek bir malzeme ile değiştirilmesi önerilmektedir. Mevcut malzemenin yangın sırasında ağır hasar alarak, yangının yapıda ilerlemesi ve tüm yüzeyde yayılması yapıda bulunan kullanıcıların ve çevredekilerin can ve mal güvenliğini tehdit etmesi, modelin ve seçilen malzemenin yangın güvenli yapı tasarımı kapsamında başarısız olduğunu göstermektedir. Bu durumda, yapıda hasar tespiti yapılarak, malzemenin yapıya ne ölçüde ve nasıl zarar verdiğinin araştırılması ve tutanak tutulması gerekmektedir. Yapılan tespit işlemlerinin ardından, modelde geriye dönülerek hangi aşamada problem gözlemlendi ise, problemin çözülerek uygun bir malzeme seçilmesi gerekmektedir.

4.4 Yangın Güvenlikli Cephe Tasarım Modelinin Uygulama Yöntemi

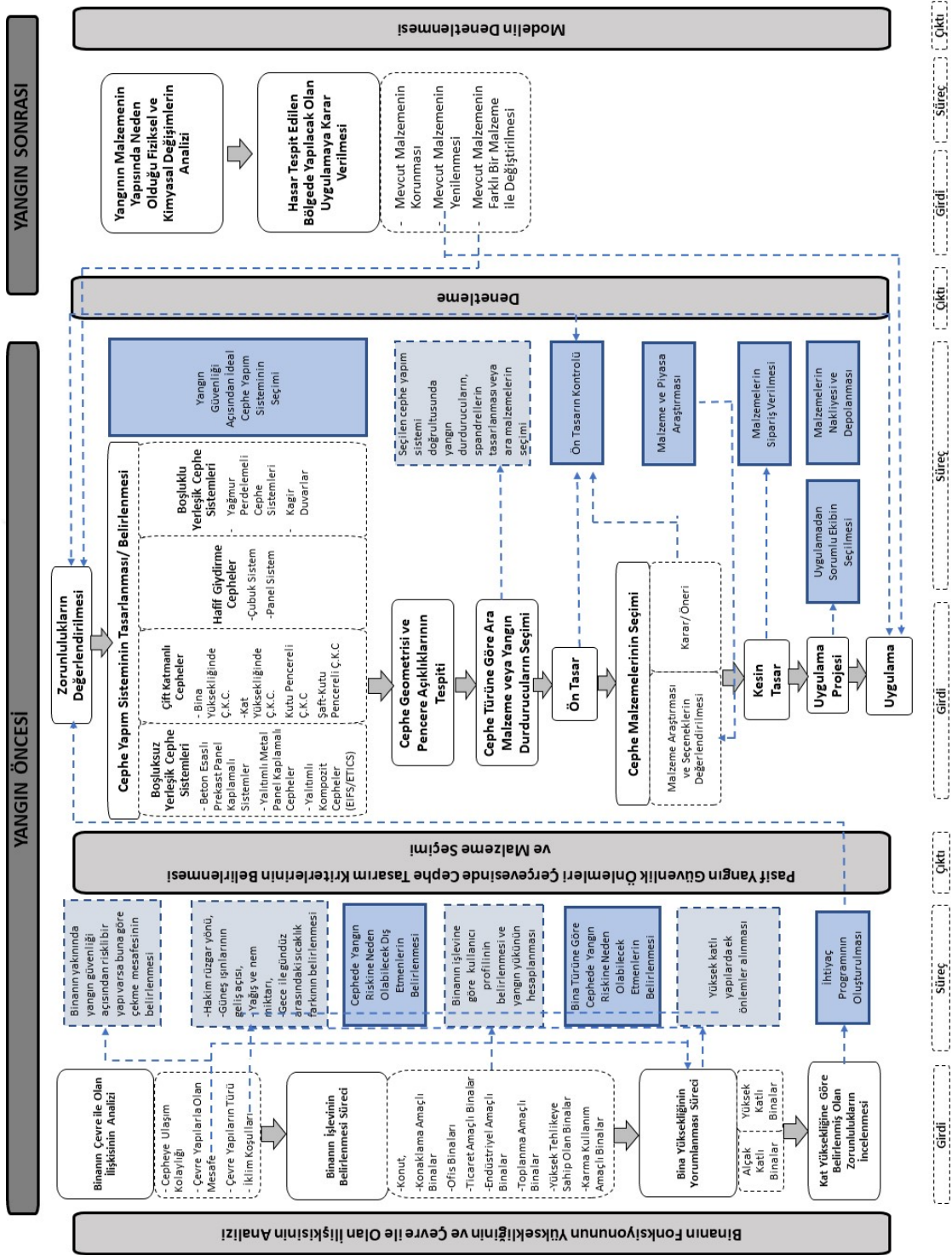
Yangın güvenlikli cephe tasarımında malzeme seçimine ilişkin olarak hazırlanan modelde sistem, alt sistem, süreç ve alt süreçler hakkında bilgi verilmiş ve modelin uygulanmasına yönelik gerekli adımlar Şekil 5.13 'te sunulmaktadır. Modelin ilk aşaması olan yangın öncesi sisteminde yer alan;

- Binanın işlevinin, yüksekliğinin ve çevreyle olan ilişkisinin analizi,
- Pasif yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde cephe tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve malzeme seçimi,
- Denetim alt sistemlerinin uygulanmasının ardından olası bir yangın olayının yaşanması sonrasında yangın sonrası sistemine geçilmektedir.

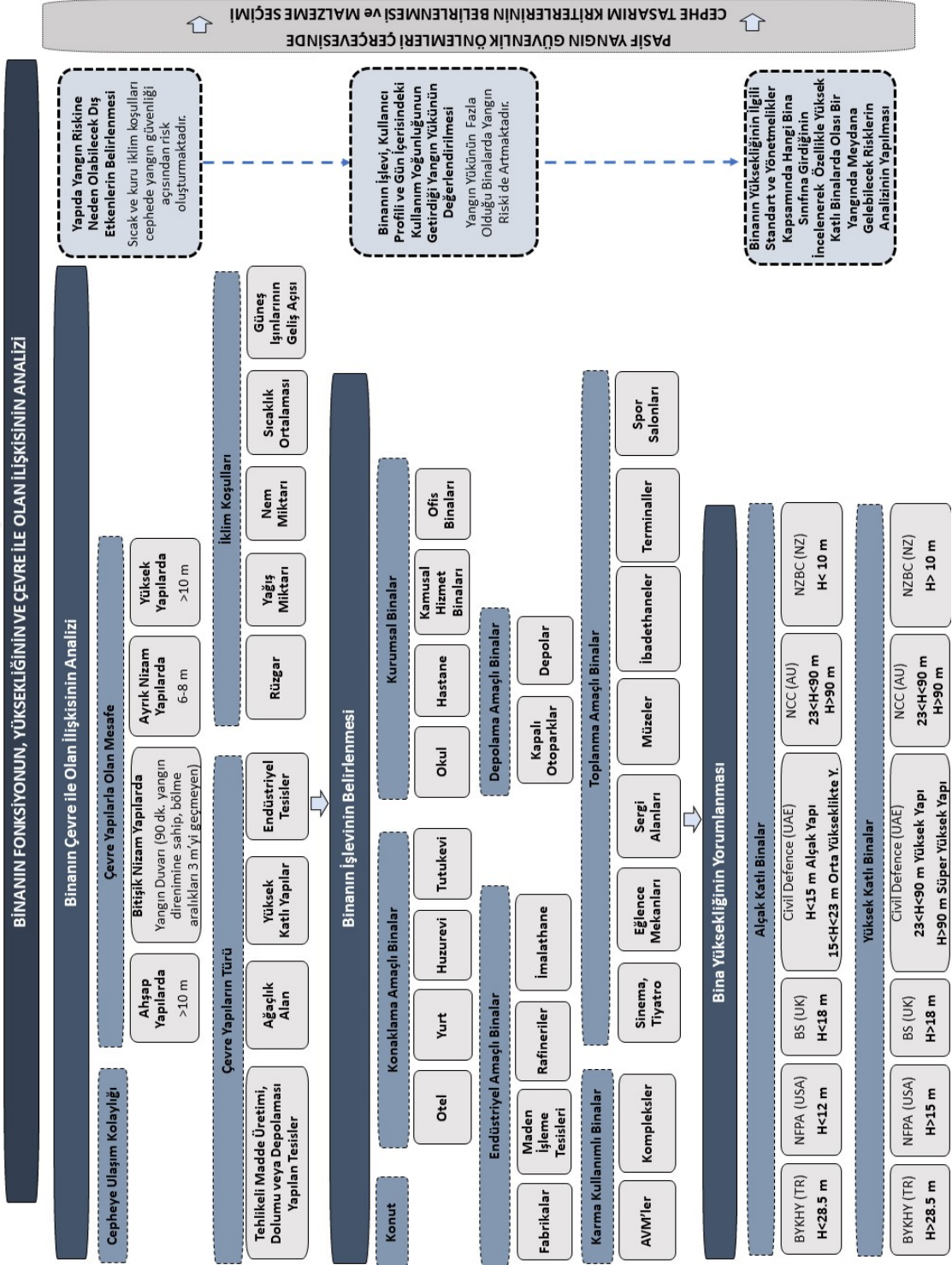
Yangın sonrası sisteminde ise:

- Yangının malzemenin yapısında neden olduğu fiziksel ve kimyasal değişimlerin analizi ve
- Hasar tespit edilen bölgeye yapılacak olan uygulamaya karar verilmesi süreçleri uygulanmaktadır.
- Sistemin herhangi bir aşamasında yaşanan olumsuzluk sonucunda önceki aşamalara geri dönölerek denetlenmesi sistemin kontrollü bir şekilde sürdürölmesine olanak sağlayacaktır (Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).

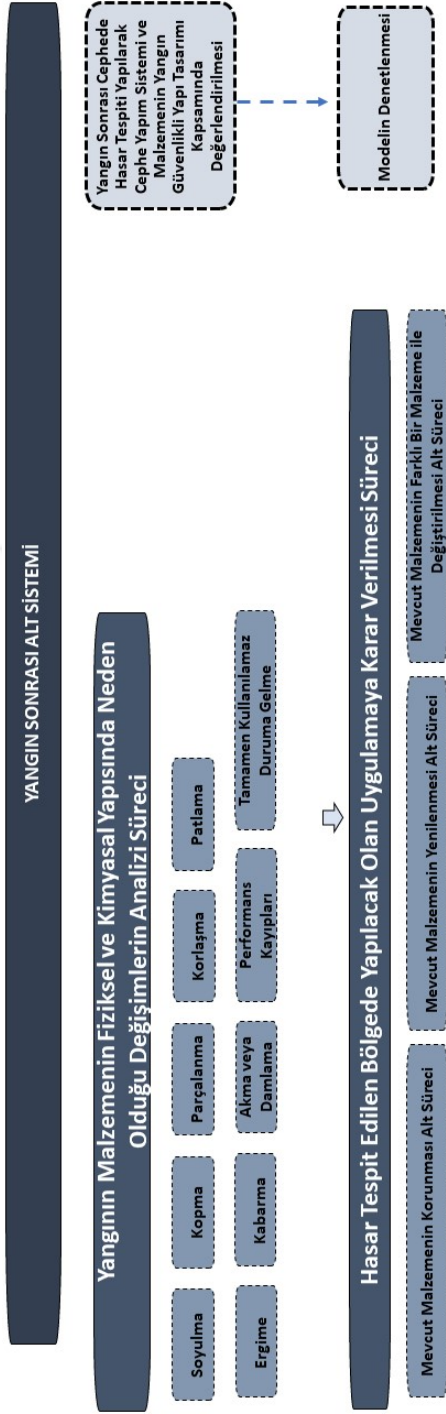




Şekil 4.13 Yangın güvenli cephe tasarımı kapsamında malzeme seçim modeli



Şekil 4.14 Bina fonksiyonunun, çevre ile olan ilişkisinin analizi alt sistemi



Şekil 4.16 Yangın sonrası alt sistemi

Tez kapsamında önerilen malzeme seçimine ilişkin sistem yaklaşımı modeli ile ilgili alan uygulamaların ileriki dönemlerde doktora çalışması veya araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmesi düşünülmektedir.



5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yangın oluşması tamamen engellenemeyen, meydana geldiğinde can ve mal kayıplarına neden olabilen ve kontrol altına alınmadığında afete dönüşebilen bir olay olarak tanımlanmaktadır. İç ve dış ortam arasında bir ara yüz görevi gören cepheler ise yapıda yangın güvenliği açısından büyük önem taşımakta, yangının hızla tüm cephe boyunca yayılmasına sebep olarak risk ve tehlikelere neden olabilmektedir. Özellikle, son yıllarda yüksek katlı yapılarda meydana gelen yangın olayları incelendiğinde, yangının cephelerde kullanılan yanıcı özellikteki malzemelerden kaynaklandığı, bazı durumlarda ise çok sayıda can ve mal kaybına neden olarak afete yol açtığı görülmektedir. Bu bağlamda, yapının mimari tasarım aşamasında cephelerde tasarım ile birlikte malzemenin de eş zamanlı olarak değerlendirilmesi yangın güvenli cephe tasarımı açısından önem oluşturmaktadır.

Kullanıcı ihtiyaçları ve gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan yeni malzeme üretim teknolojileri gelişmiş malzemelerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Yeni malzemelerin üretimindeki artış hızı ve konvansiyonel malzemelere kıyasla sağladıkları avantajlar bu malzemelerin yapı sektöründe tercih edilme oranlarını arttırmaktadır. Öte yandan, malzeme üretim teknolojilerinin gelişmesi, kullanıcı istek ve ihtiyaçlarının değişmesi ile birlikte yapı cephelerinde kullanılan kaplama malzemelerinin çeşitliliği önemli oranda artmıştır. Yangın tepki sınıfları dikkate alınmadan kullanılan bu malzemelerin cephelerde meydana gelen yangın sayısını ve şiddetini arttırdığı yapılan literatür araştırması sonucunda görülmüştür. Yangın sırasında malzemelerin yanmasıyla açığa çıkan alev, yüksek ısı, kopan parçalar, kıvılcımlar, duman ve zehirli gazlar yapıda bulunan kullanıcıları ve çevredekileri olumsuz yönde etkileyerek yaralanmalara, zehirlenmelere, can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Yaşanan yangın olayları ve sonuçları, cephelerde yangın direnimli kaplama ve ısı yalıtım malzemelerinin kullanımının önemini ortaya koymaktadır.

Cephede kullanılan malzemeler kadar, cephe yapım sistemi de olası bir yangın durumunda yapıda risk oluşturmaktadır. Tasarım aşamasında, cephe yapım sistemi ve kaplama malzemeleri seçiminin yapının kullanım ömrü boyunca hizmet edecek olan

pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında gerçekleştirilmesi yangın güvenli yapı tasarımı açısından önem taşımaktadır.

Gelişen teknoloji yapı sektöründe konvansiyonel malzemelerin yanı sıra yenilikçi malzemelerin de üretimine olanak sağlamaktadır. Son yıllarda, özellikle cephelerde kullanımı giderek artan nanoteknolojik malzemeler konvansiyonel malzemelere kıyasla pek çok avantaja sahip olmaktadır. Yeni bir malzeme üretim teknolojisi olan ve performansı arttırılmış ve üstün özellikler kazandırılmış malzemelerin üretimine olanak sağlayan nanoteknolojinin yapı sektöründeki payı giderek artmaktadır.

Yangın direnimi nano-malzemelerin özellikle cephelerde tercih edilmesi için yeni bir avantaj olarak görülmektedir. Tüm nano malzemeler yangın direnimi sağlamamakla birlikte, Bölüm 2’de belirtilen nano-malzemelerin yangın direnimleri hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde yangın direnimi amacıyla kullanılan intümesan malzemelerin yapısına belirli nano-malzemeler eklendiğinde, yangın sırasında malzemenin intümesan özelliğinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, nano-malzemelerin metal malzemenin yapısında oksidatif etkinin neden olduğu korozyonu da önemli ölçüde engellediği görülmektedir. Nano ölçekli potasyum silikat içeren aerosil ise, cam katmanları arasında kullanıldığında yangına dayanımlı cam üretimini sağlamaktadır. Yangın sırasında aktifleşerek şişen aerosil içerikli ara dolgu malzemesi camın yangın sırasındaki kararlılığını koruyarak, yangının camdan diğer tarafa geçmesine engel olmaktadır.

Öte yandan, nano-malzemeler sahip oldukları avantajların yanı sıra bir takım dezavantajlara da sahip olmaktadır. Bunlar ise:

- yüksek maliyet,
- konvansiyonel malzemelere kıyasla yeni malzemeler olduklarından insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerinin uzun vadede test edilememesi,
- malzemelerin kullanım ve uygulama şartlarının ülkelerin standart ve yönetmeliklerinde henüz yer almaması ve yer alabilmesi için uzun bir süreç gerektirmesi,
- malzemelerin yangın güvenlik testlerinin bağımsız test laboratuvarlarında denetlenip, onay alarak uygulanması nedeniyle yönetmeliklerde nano-malzemelerle ilgili bilgi bulunmaması olarak sıralanabilmektedir.

Araştırma kurumlarının ve üniversitelerin malzemeler üzerinde yapmış olduğu deneyler incelendiğinde, yangın güvenli cephe kaplama ve yalıtım malzemelerinin

üretiminde nanoteknolojinin son derece etkili olacağı düşünülmektedir. Almanya, A.B.D. ve Japonya gibi nanoteknoloji çalışmalarına ağırlık verilen ülkelerde bu kapsamda önemli yatırımların yapıldığı bilinmektedir. Türkiye’de ise, nanoteknolojik yapı malzemeleri üretimi yapan firma sayısının yetersiz olması ve nanoteknolojinin gelişmesi adına kararların diğer ülkelere kıyasla yeni alınmış olması nanoteknolojinin ilerlemesini sınırlamaktadır.

Nanoteknolojik malzemelerin yangın karşısındaki özellikleri üretici firmalar tarafından yapılan deneyler doğrultusunda belirlenmektedir. Tez kapsamında incelenen standart ve yönetmeliklere bakıldığında da nanoteknolojik malzemelerin yangın güvenliği hakkında deney standartlarının yer almadığı görülmektedir. Malzemelerin yönetmeliklerde yer alan test standartları doğrultusunda firmalar tarafından test edilerek yetkili kurumlarca onaylanmasının ardından piyasaya sürüldüğü bilinmektedir. Nano-malzemelerin yangın sırasındaki davranışlarının ayrı olarak denetlenerek standart ve yönetmeliklerde yer alması ise uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu durum malzemelerin denetimini zorlaştırmaktadır.

Diğer yandan, cephe yangınlarının görülme sıklığının ülkelere göre farklılık göstermesi, yönetmeliklerin de ülkelere göre farklılık göstermesi ile doğrudan ilişkilidir. Yangın yönetmeliklerinin sıklıkla güncellendiği, denetlendiği, karşılaşılan problemler ve yeni malzeme türlerinin kullanımı hakkında yeni düzenlemelerin yapıldığı ülkelerdeki yangın olaylarının daha az kayba yol açtığı görülmektedir. Yapıda yangın güvenliğinin başarılı bir şekilde sağlanabilmesi açısından yönetmeliklerde yer alan aktif ve pasif yangın güvenlik önlemlerinin kontrolü ve denetiminin sağlanması gerekmektedir. Buna ek olarak, denetimin sağlanabilmesi ve yönetmeliklerin doğru uygulanabilmesi açısından tasarımcıların, uygulayıcıların ve denetleyicilerin yapıda yangın güvenliği hakkındaki standart ve yönetmelikler hakkında bilgi sahibi olması ve yönetmeliklerin farklı şekillerde yorumlanmasına fırsat verilmeden eksiksiz bir şekilde hazırlanması da ayrıca önem oluşturmaktadır. NFPA ve BSI gibi kurumlar tarafından yayınlanan, sürekli olarak güncellenen ve yanıcı malzemelerin cephelerde kullanımını önemli ölçüde sınırlandıran yönetmelikler diğer ülkeler tarafından takip edilerek, yönetmeliklere adapte edilmektedir. Türkiye’de uygulanmakta olan BYKHY, 2002 yılında yürürlüğe girmiş ve geçen süre içerisinde en sonuncusu 2017 yılında olmak üzere toplamda dört güncelleme yapılmıştır. Buna ek olarak cephe malzemelerinin yangın güvenliği konusunda tasarımcılara yol gösterici olması açısından farklı malzeme alternatiflerine değinilmesi gerekli görülmektedir.

Cephelerde yangın güvenliği kapsamında doğru tasarımının yapılabilmesi, doğru ve etkin malzeme seçiminin sağlanabilmesi, yapının hizmet ömrü boyunca etkili ve sorunsuz bir şekilde kullanılıp, denetlenebilmesi açısından bir model gereksinimi

ortaya çıkmaktadır. Tez kapsamında, cephe yangınları hakkındaki mevcut sorunlar değerlendirilmiş ve farklı malzeme ve tasarım alternatiflerinin seçimi ile ilgili, cephe yapım sistemi ile eş zamanlı olarak yangın güvenli cephe tasarımında malzeme seçimine ilişkin sistem yaklaşımıyla bir model önerisi geliştirilerek; tasarımcılara, uygulayıcılara ve denetleyicilere bir rehber olması amaçlanmıştır. Modelde; amaçlar, hedefler ve kaynaklar belirlenerek adımlar (eylemler) bu yönde yönde kurgulanmış olup, amaç ve hedeflerin sağlanıp sağlanamadığının denetimi çıktılar yoluyla gerçekleştirilmektedir. Model, sistem yaklaşımı yolu ile alınarak; sistem "Yangın Öncesi" ve "Yangın Sonrası" olmak üzere iki sistemde incelenmiştir. Sistemlerin içerisinde yer alan alt sistemler ve bu alt sistemlere bağlı olan süreçler bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Modelde yer alan her bir adım bir önceki adıma bağlı olarak gerçekleştiğinden, modelde herhangi bir hata ile karşılaşılması durumunda önceki adımlara geri dönülerek sorunların çözümü ve modelin kontrolünün sağlanması mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, modelin uygulaması yapılırken tüm adımların sıra ile gerçekleştirilmesi ve model içerisinde geri dönüşlerin yapılması modelde belirlenen amaç ve hedeflere ulaşılması adına önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında sistem yaklaşımıyla oluşturulan modelin uygulanmasıyla birlikte;

- Yangın güvenli cephe tasarımı açısından doğru tasarım ve malzeme seçimlerinin yapılması,
- Cephenin kullanım ömrü boyunca etkin performans göstermesi,
- Modeldeki tüm adımların kontrolünün cephenin tasarım aşamasından itibaren gerçekleştirilmesi,
- Maliyet tahminlerinin tasarım aşamasından itibaren yapılarak bütçe denetiminin sağlanması,
- Cephede meydana gelebilecek olası bir yangının sınırlandırılarak, itfaiyenin yangına müdahale edebilmesinin sağlanması,
- Gelişen teknoloji nedeniyle artan malzeme çeşitliliği karşında malzeme seçiminin kolaylaştırılması konusunda üreticilere, tasarımcılara ve uygulayıcılara yol gösterilmesi,
- Cephede yangın güvenliği sağlanarak, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi mümkün olabilmektedir.

Sonuç olarak, yangının tamamen önlenmesi mümkün olmamakta, ancak standart ve yönetmeliklerde yer alan kurallara uyularak tasarlanan ve düzenli olarak denetimi yapılan cephelerde yangının oluşma ve yayılma

ihtimalinin en aza indirilebildiği görülmektedir. Yüksek yapılardaki yangın olayları incelendiğinde yangının kontrolsüz bir şekilde ilerlemesinde malzemenin etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Özellikle, teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan nanoteknolojik malzemelerin yangın güvenli cephe malzemelerinin üretiminde son derece etkili olacağı düşünülmektedir. Nanoteknolojinin yapı sektöründeki potansiyelinden daha çok faydalanılabilmesi açısından bu alandaki bilimsel çalışmaların desteklenmesi önerilmektedir.

Tasarım aşamasında olası yangın senaryoları doğrultusunda alınacak olan karar ve uygulamalar ile tüm beklentileri karşılayan yangın güvenli cephelerin tasarımı mümkün olabilmektedir. Çalışmada, cephe tasarımında yangın güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla sistem yaklaşımıyla oluşturulan modeldeki tüm adımların doğru bir şekilde uygulanması ile malzeme seçiminde yol gösterici olacağı ve cephede yangın güvenliğinin sağlanabileceği düşünülmektedir.

- [1] H. Başdemir F. Demirel, “Binalarda pasif yangın güvenlik önlemleri bağlamında bir literatür araştırması,” *Politeknik Dergisi*, vol. 13, pp. 101–109, 2010.
- [2] A. Kılıç, “Cephe kaplamaları ve yangın güvenliği,” *Yangın ve Güvenlik*, vol. 152, pp. 8–12, 2012.
- [3] S. Altındaş F. Demirel, “Dış cephede yangından korunma önlemleri,” in *TÜYAK Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi*, TÜYAK, 2011, pp. 281–287.
- [4] M. Spearpoint, K. Frank, I. Fu, “Façade fire incidents in tall buildings,” *CTBUH Journal*, pp. 34–39, Apr. 2019.
- [5] E. Guillaume, T. Fateh, S. Ukleja, R. Chiva, R. Schillinger, “Study of fire behaviour of facade mock-ups equipped with aluminium composite material-based claddings, using intermediate-scale test method,” *Fire and Materials*, pp. 561–567, May 2018.
- [6] *Building exterior wall assembly flammability: Have we forgotten the past 40 years?* [Online]. Available: <https://www.fireengineering.com/content/dam/fe/online-articles/documents/2015/Valiulis.pdf> (visited on 10/30/2018).
- [7] T. Chen, A. C. Y. Yuen, G. Yeoh, W. Yang, Q. Chan, “Fire risk assessment of combustible exterior cladding using a collective numerical database,” *Fire*, vol. 2, p. 11, Feb. 2019.
- [8] L. Peng, n. Zhaopeng, X. Huang, “Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in china,” *Procedia Engineering*, vol. 62, pp. 663–670, Dec. 2013. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.08.112.
- [9] *Short circuit blamed for blaze at grozny’s tallest building*. [Online]. Available: <https://www.themoscowtimes.com/2013/04/04/short-circuit-blamed-for-blaze-at-groznys-tallest-building-a22947> (visited on 11/20/2018).
- [10] *Luxury skyscraper hotel destroyed in massive blaze in chechnya*. [Online]. Available: <https://www.rt.com/news/chechnya-tallest-building-fire-280/> (visited on 11/21/2018).
- [11] *Dubai’s torch tower catches fire for second time in two years*. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-40822269> (visited on 11/21/2018).
- [12] *Blaze tears through dubai’s torch tower skyscraper for second time*. [Online]. Available: <https://www.dezeen.com/2017/08/04/fire-torch-tower-dubai-skyscraper-cladding/> (visited on 11/22/2018).

- [13] *Why is cladding banned in the us and germany used on buildings in the uk?* [Online]. Available: <https://metro.co.uk/2017/06/16/why-is-cladding-banned-in-the-us-and-germany-used-on-buildings-in-the-uk-6712578/> (visited on 10/23/2018).
- [14] *Cladding for grenfell tower was cheaper, more flammable option.* [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/uk-news/2017/jun/16/manufacture-of-cladding-on-grenfell-tower-identified-as-omnis-exterior> (visited on 11/23/2018).
- [15] *Damages for grenfell fire victims may total just 5 million pound: Reuters analysis.* [Online]. Available: <https://www.reuters.com/article/us-britain-fire-compensation-insight/damages-for-grenfell-fire-victims-may-total-just-5-million-reuters-analysis-idUSKBN1CN1P9> (visited on 11/23/2018).
- [16] *Polat tower'daki yangın neden çıktı?* [Online]. Available: <https://www.arkitera.com/haber/polat-towerdaki-yangin-neden-cikti/> (visited on 11/24/2019).
- [17] G. Zhang, G. Zhu, G. Zhao, "Analysis of the influence of construction insulation systems on public safety in china," *International journal of environmental research and public health*, vol. 13, Aug. 2016.
- [18] *Dubai hotel fire: Inferno at 63-storey address downtown hotel near new year's eve fireworks display.* [Online]. Available: <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/middleeast/dubai/12076792/Dubai-skyscraper-fire-new-years-eve-2015-live.html> (visited on 12/10/2018).
- [19] *Lacrosse apartment owners awarded 5.7 million in damages after flammable cladding blaze.* [Online]. Available: <https://www.abc.net.au/news/2019-02-28/lacrosse-apartment-owners-win-5.7-million-cladding-fire-damages/10857060> (visited on 12/14/2018).
- [20] N. White, M. Delichatsios, M. Ahrens, A. Kimball, "Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components," *MATEC Web of Conferences*, vol. 9, p. 02 005, Nov. 2013.
- [21] A. Balanlı, *Yapıda ürün seçimi*. YÜMFED Yayınları, 1997.
- [22] A. Kılıç, "Yapılarda yangın güvenliği ve söndürme sistemleri," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 8, pp. 59–60, 2003.
- [23] A. Kılıç K. Beceren, "Mimari tasarımda yangın güvenliği," in *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, Uludağ, 2011, pp. 737–746.
- [24] S. Yılmaz N. Vural, "Sürdürülebilir yapıların tasarlanmasında nanoteknolojinin rolü," in *ISBS, 2nd. International Buildings Symposium*, ISBS, 2015, pp. 294–302.
- [25] S. Leydecker, *What is nanotechnology Nanomaterials in architecture, interior architecture and design*. Birkhaeuser, 2008.
- [26] *An introduction to standarts and standardization for nanotechnologies.* [Online]. Available: <https://shop.bsigroup.com/en/Browse-By-Subject/Nanotechnology/Downloadable-presentation/> (visited on 12/31/2018).

- [27] T. R. G. 29411, *Türkiye binaların yangından korunması hakkında yönetmelik*. Bakanlar Kurulu, 2015.
- [28] NFPA, *NFPA101 Life Safety Code*. NFPA, 2018.
- [29] —, *NFPA5000 Building construction and safety code*. NFPA, 2018.
- [30] BSI, *BS 9999 2017 Fire safety in design management- code of practice*. NFPA, 2019.
- [31] IBC, *IBC International building code*. International Code Council, 2015.
- [32] U. A. E. M. of Interior Gen Command of Civil Defense, *UAE Fire and Life Safety Code of Practice*. UAE, 2018.
- [33] I. New Zealand Ministry of Business Employment, *Acceptable Solutions and Verification Methods*. IBC, 2017.
- [34] A. 1. A. G. Agency, *National Construction Code Volume 1*. Australia, 2016.
- [35] A. G. Agency, *National Construction Code Volume 2*. Australia, 2016.
- [36] A. B. C. Board, *Advisory Note Fire Performance of External Walls and Cladding*. Australia, 2018.
- [37] *Evaluation of fire and explosion hazard of nanoparticles*. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Hazardous-Materials/Evaluation-of-fire-and-explosion-hazard-of-nanoparticles> (visited on 10/20/2019).
- [38] *Yangın yerindeki tehlikeler*. [Online]. Available: [http : / / abdurrahmanince.net/yyt.pdf](http://abdurrahmanince.net/yyt.pdf) (visited on 10/31/2019).
- [39] G. Yavuz, “Yangın korunumu kimyasına ilişkin özet bilgiler,” *Yangın ve Güvenlik*, vol. 31, pp. 87–91, 1997.
- [40] O. Reman, “Yangın ve yapı malzemelerinde etkisi,” *Yalıtım Dergisi*, 1997.
- [41] G. Yavuz, *Binalarda Yangın Güvenliği, Ders Notu*, YTÜ. YTÜ.
- [42] N. a. Yüzer, *Tarihi yapılarda malzeme seçimi, Ders Notu*, YTÜ. YTÜ, 2019.
- [43] C. Schittich, *In detail: Building skins, concepts, layers, materials*. Birkhaeuser Verlag, 2001.
- [44] T. Herzog, R. Krippner, W. Lang, *Facade construction manual*. Birkhaeuser Verlag, 2017.
- [45] S. Murray, *Contemporary curtain wall architecture*. Princeton Architectural Press, 2009.
- [46] U. Knaack, T. Klein, M. Bilow, T. Auer, *Façades: principles of construction*. Princeton Architectural Press, 2014.
- [47] Ö. Eşsiz, “Teknolojinin cam cephe panellerine getirdiği yenilikler,” in *1. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, Çatıder, 2004, pp. 73–82.
- [48] D. M. Addington D. L. Schodek, *Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions*. Routledge, 2005.
- [49] Ü. Arpacıoğlu, “Cephe yangınları ve cephe kaplamalarının yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi,” in *1. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, Çatıder, 2004.

- [50] F. N. P. Bong, *Fire Spread on Exterior Walls, Fire Engineering Research Report 00/1*. School of Engineering, University of Canterbury, 2000.
- [51] T. I. 13387-6, *Bölüm 6 Yapısal tepki ve yangının kaynaklandığı kapalı hacimden etrafa yayılması*. TSE, 2010.
- [52] N. Ö. Kanan, “Enerji verimli yapı kabuğunun yangın anındaki davranışı, cephe yangınları,” in *7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, Çatıder, 2014.
- [53] *Conference proceedings: Interflam '96: Seventh international fire science and engineering conference*. [Online]. Available: <http://gala.gre.ac.uk/id/eprint/10/> (visited on 10/31/2019).
- [54] *External façade fire evaluation and comparison tool*. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/~media/97A06ADCB4D34B2DB40B6EDD8CF2C63A.pdf> (visited on 02/13/2019).
- [55] K. Jamison D. Boardman, “A new fire performance test for cavity wall insulation,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 46, p. 02 004, 2016.
- [56] O. H. Uslu, “Binalarda yangın yalıtım esasları,” in *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, Çatıder, 2013, pp. 1837–1843.
- [57] J. J. Beitel, “Nfpa 285: What you need to know,” *Journal of Building Enclosure Design*, vol. 14, p. 02 004, 2016.
- [58] *Nfpa 285 fire tested wall assemblies*. [Online]. Available: <http://www.owenscorning.com/networkshare/eis/10015478-commercialcomplete-nfpa-285-brochure.pdf> (visited on 02/22/2019).
- [59] Precast P. C. Institute, *Architectural precast concrete*. PCI, 2007.
- [60] *Follow up: Innovation with research and development*. [Online]. Available: <https://www.wellsconcrete.com/follow-up-innovation-with-research-development/> (visited on 02/22/2019).
- [61] *Polat tower'daki yangın kontrol altına alındı, ölü ve yaralı yok*. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/ydbfdkny> (visited on 03/25/2019).
- [62] *Polat tower' da çıkan yangın kontrol altına alındı*. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/y9lw26m4> (visited on 03/25/2019).
- [63] G. Hausladen, M. De Saldanha, P. Liedl, *ClimateSkin: building-skin concepts that can do more with less energy*. Birkhaeuser Verlag, 2008.
- [64] E. Ateş, “Dış cephe harici kompozit ısı yalıtım sistemlerinin (etics) ve yangına tepki davranışının belirlenmesinde uygulanması gereken metotlar,” *EPS haber*, pp. 40–43, Jul. 2015.
- [65] *Façades can significantly affect the spread of fire*. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/yb3hgf4u> (visited on 04/10/2019).
- [66] H. Poirazis, *Double Skin Facades for Office Buildings - Literature Review Report*. Lund University, 2004.
- [67] K. Harrison T. Meyer-Boake, “The tectonics of the environmental skin,” *University of Waterloo, School of Architecture*, 2003.

- [68] S. Uuttu, "Study of current structures in double-skin facades," *Helsinki University of Technology, Department of civil and environmental engineering laboratory of steel structures*, 2001.
- [69] B. BBRI, "Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active façades," *Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgian Building Research Institute*, 2002.
- [70] E. L. Alemdağ F. Beyhan, "A research on construction systems of double skin facades.," *Gazi University Journal of Science*, vol. 30, no. 1, 2017.
- [71] T. İnan T. Basaran, "Çift cidarlı cepheler üzerine bir araştırma.," *Megaron*, vol. 9, no. 2, 2014.
- [72] C. Chow, "Full-scale burning tests on double-skin façade fires," *Fire and materials*, vol. 37, no. 1, pp. 17–34, 2013.
- [73] *Double skin facades*. [Online]. Available: www.jeffvaglio.com (visited on 04/15/2019).
- [74] *Glazing manual*. [Online]. Available: <http://www.ggf.co.uk/> (visited on 04/25/2019).
- [75] L. P. Council, *Fire spread in multi-storey buildings with glazed curtain wall facades*. The Council, 1999.
- [76] S. Hassani, T. Shields, G. Silcock, "Thermal fracture of window glazing: Performance of glazing fire," *Journal of Applied Fire Science*, vol. 4, no. 4, pp. 249–263, 1994.
- [77] L. Jackman M. Finegan, *Non-glazed Curtain walling: furnace test results and recommendations*. Loss Prevention Council, Association of British Insurers, 2001.
- [78] Z. Ni, S. Lu, L. Peng, "Experimental study on fire performance of double-skin glass facades," *Journal of fire sciences*, vol. 30, no. 5, pp. 457–472, 2012.
- [79] F. D. Ching, C. Adams, T. S. Tağmat, *Çizimlerle bina yapım rehberi*. Yapı Yayın, 2001.
- [80] G. Altınay, "Beton esaslı prekast cephe panellerinin üretimi, uygulaması, yapısal performansının değerlendirilmesi ve bir alan araştırması ile incelenmesi," PhD thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [81] *Technical note no 73, fire performance of curtain walls and rainscreens*. (visited on 05/12/2019).
- [82] D. O'Connor, "Building façade or fire safety façade?" *CTBUH Journal*, no. 2, pp. 30–39, 2008.
- [83] *Fireman died 9 of his colleagues injured in mumbai blaze*. (visited on 05/12/2019).
- [84] S. Saltı, "Giydirme cephelerde yangın yalıtımı webinarı,"
- [85] N. Toydemir, E. Gürdal, L. Tanaçan, S. Özkal, N. Doymuş, Ö. Ciravoğlu, *Yapı elemanı tasarımında malzeme*. Literatür yayınları, 2000.

- [86] M. Soğukoğlu A. İnce, “Yüksek binalarda yangın güvenliği açısından dış cephe yalıtım ve kaplama malzemeleri,” in *Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi, Yüksek Yapılarda Yangın ve Güvenlik, TÜYAK*, 2013.
- [87] C. Wade J. Clampett, *Fire performance of exterior claddings*. Fire Code Reform Centre, 2000.
- [88] L. Farrelly, *Mimarlıkta yapım ve malzeme*. Literatür Yayınları, 2017.
- [89] Ö. Eşsiz S. Ekinici, *Metal cephe kaplamalarının düünden bugüne gelişimi*, 2012.
- [90] *Guidelines for the safe use of combustible metals*. [Online]. Available: <https://www.ehs.pitt.edu/assets/docs/combustible-metals.pdf> (visited on 05/10/2019).
- [91] *Nfpa reporters guide: All about fire*. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Press-Room/Reporters-Guide-to-Fire-and-NFPA/All-about-fire> (visited on 09/28/2019).
- [92] L. S. Arup I. S. Arup, “High rise buildings with combustible exterior wall assemblies: Fire risk assessment tool,” *NFPA Research*, February, 2018.
- [93] *Yalıtımlı çatı ve cephe panelleri*. [Online]. Available: https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitimli_cati_ve_cephe_panelleri.pdf (visited on 05/16/2019).
- [94] R. J. Crewe, J. P. Hidalgo, M. X. Sorensen, M. McLaggan, S. Molyneux, S. Welch, G. Jomaas, J. L. Torero, A. A. Stec, T. R. Hull, “Fire performance of sandwich panels in a modified iso 13784-1 small room test: The influence of increased fire load for different insulation materials,” *Fire Technology*, vol. 54, no. 4, pp. 819–852, 2018.
- [95] E. Avlar, *Yapı malzemesi olarak ahşap*, Ders Notu. YTÜ, 2018.
- [96] C. A. Harper, *Handbook of building materials for fire protection*. McGraw-Hill New York, 2004.
- [97] R. İlhan, “Prefabrik konut yapımında yangına karşı alınması gereken önlemler,” *Milli Prodüktivite Yayınları*, vol. 338, 1988.
- [98] S. L. LeVan J. E. Winandy, “Effects of fire retardant treatments on wood strength: A review,” *Wood and fiber science*, vol. 22, no. 1, pp. 113–131, 2007.
- [99] A. İstek, İ. Özsoylu, S. Çelik, Ş. Gönül, “Ahşap esaslı levha sektöründe kullanılan yanma geciktiriciler,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 389–399, 2017.
- [100] A. Lyons, *Materials for architects and builders*. Routledge, 2014.
- [101] G. Düşüt, “Kompakt laminat giydirme cephe sistemleri performans özellikleri,” in *3. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, 2006.
- [102] F. Cambiaso M. V. Pietrasanta, “Innovative timber construction: Sustainability and gigh performance building skin,” *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 1, p. 47, 2014.

- [103] *Compact laminat giydirm cephe sistemleri*. [Online]. Available: <http://www.raf.com.tr/images/pdf/0032.pdf> (visited on 07/12/2019).
- [104] T. Korhonen J. Hietaniemi, "Fire safety of wooden façades in residential suburb multi-storey buildings," *VTT Building and Transport*, 2005.
- [105] *Dubai, marina torch tower yangını*. [Online]. Available: <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1801571> (visited on 07/12/2019).
- [106] T. Shields, G. Silcock, M. Flood, "Performance of a single glazing assembly exposed to a fire in the centre of an enclosure," *Fire and materials*, vol. 26, no. 2, pp. 51–75, 2002.
- [107] *Glass breakage in fires*. [Online]. Available: <https://www.curvent.co.za/post/2016/08/22/glass-breakage-in-fires> (visited on 07/20/2019).
- [108] *nşaat teknolojisi, doğal taşları sınıflandırma ve tespit etme*. [Online]. Available: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/dogaltas.pdf> (visited on 07/25/2019).
- [109] G. Düşüt, "Kil esaslı yapı malzemelerinin çatı ve cephelerde geçmişten günümüze sürdürülebilir kullanımı," in *9. Ulusal Çatı ve Cephe Konferansı*, 2018.
- [110] *Tuğla ürün detayları*. [Online]. Available: <http://tukder.org.tr/tugla-urunler/> (visited on 07/30/2019).
- [111] *Granit seramik kaplamalar*. [Online]. Available: <https://tunayapi.com.tr/sagir-cephe-kaplamalari/granit-seramik-kaplamalar/> (visited on 07/30/2019).
- [112] *Terra cotta cephe kaplama sistemleri uygulama resimleri*. [Online]. Available: <http://www.yapisan.org.tr/uygulamalarimiz/cephe-sistemleri/terra-cotta-cephe-kaplama> (visited on 07/30/2019).
- [113] *X tile*. [Online]. Available: http://www.graniser.com.tr/urunler/1001/yer_karosu/240/xtile.aspx (visited on 07/30/2019).
- [114] *Porselen cephe kaplamaları*. [Online]. Available: <https://www.kale.com.tr/tr/kalebodur/cephe> (visited on 07/30/2019).
- [115] H. Y. Ersoy, *Kompozit malzeme*. Literatür Yayınları, 2001.
- [116] A. P. C. Committee, *PCI : Architectural precast concrete*. Precast/Prestressed Concrete Institute, 2007.
- [117] *Fibrofom teknik özellikler*. [Online]. Available: <http://www.fibrobeton.com.tr/imagestore/products/fibrofombeton.pdf> (visited on 08/10/2019).
- [118] *Fibrobeton ürün detay*. [Online]. Available: http://www.graniser.com.tr/urunler/1001/yer_karosu/240/xtile.aspx (visited on 08/10/2019).
- [119] *Haydar aliyev kültür merkezi*. [Online]. Available: <https://www.elektrontr.com/guncel/haydar-aliyev-kultur-merkezi> (visited on 08/12/2019).
- [120] S. Agarwal R. K. Gupta, "Plastics in buildings and construction," in *Applied Plastics Engineering Handbook*, Elsevier, 2017, pp. 635–649.

- [121] S. Erdem N. Arıoğlu, “Polimer çatı malzemelerinin yangın karşısında davranışlarının incelenmesi,” in 8. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, 2016.
- [122] W. Chow, C. Leung, G. Zou, H. Dong, Y. Gao, “Full-scale burning tests on flame spread of plastic materials,” *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, vol. 8, no. 3, pp. 99–111, 2006.
- [123] *Stylish pvc outside cladding*. [Online]. Available: <https://www.dumaplast.com/en/brands/pvc-outside-wall-cladding-sidings-laths-dumaclin> (visited on 09/14/2019).
- [124] *Acrylic sheets*. [Online]. Available: <https://www.brettmartin.com/en-gb/plastic-sheets/products/acrylic.aspx> (visited on 05/14/2019).
- [125] *Polikarbonat cephe kaplama*. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/yaourrzo> (visited on 09/14/2019).
- [126] *C.t.p. levha*. [Online]. Available: https://www.yapikatalogu.com/ince-yapi-bitirme-isleri/cati-levhalari/fibrosan-c-t-p-levha_177 (visited on 05/10/2019).
- [127] *Ahşap plastik kompozit kaplama paneli*. [Online]. Available: <https://www.newtechwood.com/european-style/#technical> (visited on 09/20/2019).
- [128] *Dış cephe kaplama için corian*. [Online]. Available: <http://www.corian.com.tr/corian-r-for-exterior-cladding> (visited on 09/20/2019).
- [129] T. UYGUNOĞLU, İ. GÜNEŞ, M. ÇALIŞ, S. ÖZGÜVEN, “Eps ve xps malzemeleriyle yapılan mantolamaların yangın sırasındaki davranışlarının araştırılması, sayfa: 21-28,” *Politeknik Dergisi*, vol. 18, no. 1, pp. 21–28, 2015.
- [130] *zoder duvarlarda ısı yalıtımı*. [Online]. Available: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/duvarlardaisiyalitimi.pdf> (visited on 09/30/2019).
- [131] *zoder taşıyünü*. [Online]. Available: <https://www.izocam.com.tr/userfiles/files/urunler/yalitim-malzemeleri/tasyunu/tasyunu.pdf> (visited on 05/30/2019).
- [132] *zoder camyünü*. [Online]. Available: <https://www.izocam.com.tr/userfiles/files/urunler/yalitim-malzemeleri/camyunu/camyunu.pdf> (visited on 05/30/2019).
- [133] E. Mikkola, T. Hakkarainen, A. Matala, “Fire safety of eps insulated facades in residential multi-storey buildings,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, vol. 9, 2013, p. 04 002.
- [134] R.-s. Han, G.-q. Zhu, G.-w. Zhang, “Experiment study on the ignition point of xps foam plastics,” *Procedia Engineering*, vol. 52, pp. 131–136, 2013.
- [135] *Poliizosiyanürat izolasyonlu sandviç paneller*. [Online]. Available: <http://www.raf.com.tr/urun/teknopanel-poliizosiyanurat-pir-izolasyonlu-sandvic-paneller/4019> (visited on 10/10/2019).

- [136] *Sprey poliüretan sert köpük*. [Online]. Available: https://www.yapikatalogu.com/ince-yapi-bitirme-isleri/puskurtme-isi-yalitimi/izokim-sprey-poliuretan-sert-kopuk_17347 (visited on 10/10/2019).
- [137] M. H. Rastall, N. H. Ng, E. J. MacPherson, *Modified phenolic foams*, US Patent 4,525,492, 1985.
- [138] *Properties of phenolic foam*. [Online]. Available: <http://epfa.org.uk/properties-of-phenolic-foam/> (visited on 10/21/2019).
- [139] *zoder polietilen*. [Online]. Available: <https://www.izocam.com.tr/userfiles/files/urunler/yalitim-malzemeleri/polietilen-kopuk/polietilen-kopuk.pdf> (visited on 10/21/2019).
- [140] *zoder fiyat listesi 2018*. [Online]. Available: http://www.izogun.com/excel/2018_izocam_fiyat_listesi.pdf (visited on 10/21/2019).
- [141] *Flokser kimyaya dayanaklı pır poliüretan sistemler üretiyor*. [Online]. Available: <http://www.dunyainsaat.com.tr/haber/flokser-kimya-yangina-dayanikli-pir-poliuretan-sistemler-uretiyor/32274> (visited on 10/21/2019).
- [142] *Sandviç panel iç dolgu malzemeleri*. [Online]. Available: <http://www.marmaraaluminyum.com.tr/urunler/assan/7/Sandvic-Panel-Ic-Dolgu.pdf> (visited on 11/10/2019).
- [143] *Evopour, evospray- rijit poliüretan sistemler*. [Online]. Available: <https://www.izocam.com.tr/userfiles/files/urunler/yalitim-malzemeleri/camyunu/camyunu.pdf> (visited on 11/13/2019).
- [144] *Modified phenolic foams*. [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/phenolic-foam-wall-insulationboard3992244430.html> (visited on 11/15/2019).
- [145] *Taksim ilk yardım hastanesi yangını raporu tamamlandı*. [Online]. Available: <http://calteches.library.caltech.edu/1976/1/1960Bottom.pdf> (visited on 11/15/2019).
- [146] Ö. Aydoğdu E. Korkmaz, “Yangın güvenli yapı tasarımında nano-malzemeler,” in *TÜYAK Endüstriyel Tesislerde Yangın Güvenliği ve Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, TÜYAK, 2019, pp. 206–224.
- [147] A. Yardimci, “Nanoteknoloji hızlı geliyor,” *Ekonomik Forum*, pp. 34–39, Jul. 2012.
- [148] S. Çıracı, E. Özbay, O. Gülseren, H. Demir, M. Bayındır, A. Oral, T. Senger, A. Aydın, A. Dana, “Türkiye’de nanoteknoloji,” *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, vol. Ağustos, pp. 6–10, 2005.
- [149] J. Bozoglu D. Arditi, “Yapılarda ve yapı yönetiminde nanoteknoloji uygulamaları,” Sep. 2012.
- [150] A. Orhon, “Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı,” *Ege Mimarlık*, vol. 2012/3, pp. 18–21, Dec. 2012.
- [151] G. Miray, “Nanomimarlık bağlamında nanomalzemeler,” *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, vol. 15, no. 2,

- [152] G. G. Avcı, “şlevsel nano kaplamalar,” *Bilim ve Teknik Dergisi*, pp. 48–49, 2009.
- [153] A. Khanna, “Nanotechnology in high performance paint coatings,” *Asian J. Exp. Sci.*, vol. 22, Jan. 2008.
- [154] S. F. Hansen, “Regulation and risk assessment of nanomaterials: Too little, too late?,” 2009.
- [155] U. Usepa, “Nanotechnology white paper,” *US Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA*, p. 20 460, 2007.
- [156] D. Schodek, P. Ferreira, M. Ashby, *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*. Jan. 2009.
- [157] *Nanotechnology: Small matters, many unknowns, risk perception*. [Online]. Available: <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report93.pdf> (visited on 05/10/2019).
- [158] M. Chemical, *ALPOLIC technical manual*. Mitsubishi Chemical Corporation, 2017.
- [159] *Alpolic a1*. [Online]. Available: https://www.alpolic.com/alpolic-intl/alpolic_a1/ (visited on 05/28/2019).
- [160] D. Kumlutaş U. Yılmaz, “Binalarda vakum izolasyon panelleri kullanılması nın soğutma yüküne olan etkisi,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, no. 583, pp. 10–16, 2008.
- [161] *Flashback: Post tower/ murphy jahn*. [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/231521/flashback-post-towermurphyjahn/5038284528ba0d599b001160-flashback-post-tower-murphyjahn-image> (visited on 01/07/2020).
- [162] J. Lee, S. Mahendra, P. Alvarez, “Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations,” *ACS nano*, vol. 4, pp. 3580–90, Jul. 2010.
- [163] W. Jones, A. Gibb, C. Goodier, P. Bust, M. Song, J. Jin, “Nanomaterials in construction – what is being used, and where?” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, vol. 172, pp. 1–14, May 2016.
- [164] P. Broekhuizen, F. Broekhuizen, R. Cornelissen, L. Reijnders, “Use of nanomaterials in the european construction industry and some occupational health aspects thereof,” *J Nanopart Res*, vol. 13, pp. 447–462, Feb. 2011.
- [165] S. Turunç Y. Gökuç, “Use of nanotechnological building materials in the turkish construction industry,” *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 4, pp. 296–305, Jun. 2019.
- [166] Y. Kothari S. Dewalkar, “Application of nanotechnology in smart civil structures,” *International Journal of Technical Research and Applicatons*, vol. 4, no. 3, pp. 13–17, 2016.
- [167] H. Boostani S. Modirrousta, “Review of nanocoatings for building application,” *Procedia Eng*, vol. 145, pp. 1541–1548, 2016.

- [168] L. Yan, Z. Xu, X. Wang, "Influence of nano-silica on the flame retardancy and smoke suppression properties of transparent intumescent fire-retardant coatings," *Progress in Organic Coatings*, vol. 112, pp. 319–329, 2017.
- [169] Z. Wang, E. Han, F. Liu, W. Ke, "Fire and corrosion resistances of intumescent nano-coating containing nano-sio 2 in salt spray condition," *Journal of Materials Science and Technology - J MATER SCI TECHNOL*, vol. 26, pp. 75–81, Jan. 2010.
- [170] T. Mizutani, K. Arai, M. Miyamoto, Y. Kimura, "Application of silica-containing nano-composite emulsion to wall paint: A new environmentally safe paint of high performance," *Progress in Organic Coatings*, vol. 55, pp. 276–283, Mar. 2006.
- [171] *Aerodisp fumed silica dispersion for fire-resistant glass*. [Online]. Available: https://www.silica-specialist.com/product/silica/en/service-center/downloads/pages/downloads-glass.aspx?xd_co_f=MmQyMjM0MjgtMmZiNC00YTc4LTg2ZWEtMTg4ZjM1NWZlNmU1 (visited on 03/10/2020).
- [172] A. Akhtar, M. Feng, A. Koubaa, S. Zhang, "Dış cephede yangından korunma önlemleri," in *International Conference on Nanotechnology for the Forest Products Industry 2009*, Curran Associates, Inc., 2009, pp. 1121–1137.
- [173] Z. Wang, E. Han, F. Liu, W. Ke, "Thermal behavior of nano-tio2 in fire-resistant coating," *Journal of Materials Science and Technology*, vol. 23, pp. 547–550, Jul. 2007.
- [174] Z. Wang, E. Han, W. Ke, "Effect of nanoparticles on the improvement in fire-resistant and anti-ageing properties of flame-retardant coating," *Surface and Coatings Technology - SURF COAT TECH*, vol. 200, pp. 5706–5716, May 2006.
- [175] E. Açıklan, "Polimer kil nanokompozitleri, nanoteknoloji ve nano malzeme süreçleri," in. Jan. 2010.
- [176] B. aydoğan N. Usta, "Nanokil ve kabaran alev geciktirici ilavesinin rijit poliüretan köpük malzemelerin ısıl bozunma ve yanma davranışlarına etkilerinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 30, Mar. 2015.
- [177] F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Dubois, "New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites," *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol. 63, pp. 100–125, Jan. 2009.
- [178] F. Demirel S. Altındaş, "Yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarının avrupa birliği direktiflerine göre sınıflandırılması ve konunun türkiye – avrupa genelinde irdelenmesi," *Politeknik Dergisi*, vol. 8, no. 4, pp. 381–395, 2005.
- [179] C. Kozacı, *Sunuş, Türkiye yangından korunma yönetmeliği, Teknik Kitaplar Dizisi, No: 7. TÜYAK*, 2015.

- [180] *Yangın sınıfları*. [Online]. Available: [http : / / abdurrahmanince . net / YanginSiniflari.htm](http://abdurrahmanince.net/YanginSiniflari.htm) (visited on 10/15/2019).
- [181] A. İnce, Önsöz, *Türkiye yangından korunma yönetmeliği, Teknik Kitaplar Dizisi, No: 7*. TÜYAK, 2015.
- [182] V. Tecim, “Sistem yaklaşımı ve soft sistem düşüncesi,” *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 19, Jun. 2013.
- [183] *Sistem yaklaşımı*. [Online]. Available: [http : / / www . baskent . edu . tr / ~ahalic/cyt_dersnotlari/ybs451-4.pdf](http://www.baskent.edu.tr/~ahalic/cyt_dersnotlari/ybs451-4.pdf) (visited on 01/05/2020).
- [184] L. Skyttner, *General systems theory: Problems, perspectives, practice*. Jan. 2006, pp. 1–524.
- [185] S. Jackson, D. Hitchins, H. Eisner, “What is the systems approach?” *Insight*, vol. 13, no. 1, pp. 41–43, 2010.
- [186] R. L. Flood E. R. Carson, *Dealing with complexity: an introduction to the theory and application of systems science*. Springer Science and Business Media, 2013.
- [187] *Brandschutz bei hinterlüfteten fassaden*. [Online]. Available: [https : / / www . oefhf . at / content / fm / 13 / 800 / OEFHF _ Brandschutz - 03 - 2018 . pdf](https://www.oefhf.at/content/fm/13/800/OEFHF_Brandschutz-03-2018.pdf) (visited on 01/20/2020).
- [188] *Cpd: Open space cavity barriers for rainscreen*. [Online]. Available: [http : / / www . constructionmanagemagazine . com / cpd - articles / cpd - open - state - cavity - barriers - rainscreen /](http://www.constructionmanagemagazine.com/cpd-articles/cpd-open-state-cavity-barriers-rainscreen/) (visited on 05/10/2019).
- [189] A. T. Uyaroğlu, *İnşaata Başlarken*. YEM Yayıncılık, 2015.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgileri: aydogduozgu@gmail.com

Konferans Bildirisi

1. Ö. Aydoğdu ve E. Korkmaz, "Yangın güvenli yapı tasarımında nano-malzemeler", TÜYAK, Endüstriyel Tesislerde Yangın Güvenliği ve Yeni Teknolojiler Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2019, ss. 206-224.

