SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILARDAKİ YANGIN RİSKLERİNİN L MATRİS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Pınar ORUÇ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILARDAKİ YANGIN RİSKLERİNİN L MATRİS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Pınar ORUÇ
0000-0002-5993-7047

Doç. Dr. Zuhal ŞİMŞEK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILARDAKİ YANGIN RİSKLERİNİN L MATRİS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
Pınar ORUÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zuhal ŞİMŞEK

Yangın, yapılarda kısa sürede büyük hasarlara sebep olan, kullanıcıların can ve mal güvenliğini tehdit eden bir doğal afettir. Yapı da yangın başladıktan sonra önlemlerin alınması mümkün olmadığından tasarım ve kullanım süreçlerinde yangın güvenlik önlemlerinin alınması ve düzenli aralıklarla sistemlerin işlerliği kontrol edilmelidir. Binalarda tasarım aşamasında alınan kararlar, kullanılan malzemeler ve sistemler olası bir yangında yapının yangına dayanım süresini ve yangının yayılma hızını belirlemektedir. Son yıllarda artan enerji ihtiyacı ile hayatımıza giren sürdürülebilirlik kavramı kapsamında, yapılarda enerjinin korunumu, alternatif enerji kaynaklarından yararlanma, çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik uygulamaları kapsamaktadır. Fosil yakıt kullanımının azaltılması, doğaya CO_2 gazı salınımını da azaltacağından uzun vadede ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçilmesi amacıyla sürdürülebilirlik kapsamında çeşitli sistemler ve malzemeler geliştirilerek, uygulanmaya başlanmıştır. Son 15 yılda Amerika ve Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde raporlanan yangın verileri incelendiğinde sürdürülebilir yapılarda kullanılan bazı sistem ve malzemelerin yangın başlattığı veya yangının yayılmasına neden olduğu görülmüştür. Ülkemizde de son 15 yılda görülen büyük yangınlarda da sürdürülebilirlik kapsamında kullanılan malzemelerin yangının yayılmasına sebep olduğu bilinmektedir. Konuyla ilgili yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında herhangi madde bulunmamaktadır. Tez kapsamında bu konudaki eksiklere dikkat çekilmesi ve risklerin değerlendirilmesi amacıyla uluslararası yeşil bina sertifikasına sahip 11 yapı yerinde incelenmiş, toplanan veriler ile yapılarda kullanılan sürdürülebilir sistemler ve malzemelerden oluşan yangın riskleri belirlenmiştir. Bu risklerin belirlendiği yapılarda sistemin/malzemenin tek başına oluşturduğu yangın riski ve mevcut yangın güvenlik önlemleriyle birlikte oluşan risk L Matris yöntemiyle değerlendirilerek sayısal veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda sürdürülebilir uygulamalara ait risklerin önem dereceleri belirlenerek yapılarda alınması gerekli önlemler ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yangın Güvenliği, Sürdürülebilir Yapı, Risk Analizi, Yeşil Bina, Yangın Riski
2023, xv + 168 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ASSESSMENT OF FIRE RISKS IN SUSTAINABLE BUILDINGS BY L MATRIX METHOD

Pinar ORUC

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zuhal SIMSEK

Fire is a natural disaster that causes damage to buildings in a short time and threatens the safety of life and property of users. Since it is not possible to take precautions after the fire has started in the building, fire safety precautions should be taken during the design and usage processes and the operability of the systems should be checked at regular intervals. The decisions taken during the design phase of the buildings, the materials and systems used determine the fire resistance time of the building and the rate of fire spread in a possible fire. Within the scope of the concept of sustainability, which has entered our lives with the increasing energy need in recent years, it includes applications for the conservation of energy in buildings, the use of alternative energy sources, and the reduction of damage to the environment.Since reducing the use of fossil fuels will also reduce the emission of CO2 gas to the nature, various systems and materials have been developed and implemented within the scope of sustainability in order to prevent the deterioration of the ecological balance in the long term. When the fire data reported in various countries of America and Europe in the last 15 years were examined, it was seen that some systems and materials used in sustainable buildings started fires or caused the fire to spread. It is known that the materials used within the scope of sustainability in the big fires seen in the last 15 years in our country cause the fire to spread. There is no article within the scope of the Regulation on the Protection of Buildings from Fire, which is in force on the subject.Within the scope of the thesis, 11 buildings with international green building certificate were examined in order to draw attention to the deficiencies in this subject and to evaluate the risks, and the fire risks consisting of sustainable systems and materials used in the buildings were determined with the collected data. In the buildings where these risks are determined, the fire risk created by the system/material alone and the risk that occurs together with the existing fire safety measures are evaluated with the L Matrix method and numerical data are obtained. In line with the data obtained, the degree of importance of the risks of sustainable practices was determined and the necessary precautions and suggestions were presented.

Key words: Fire Safety, Sustainable Buildings, Risk Analysis, Green Buildings, Fire Risks

2023, xv+ 168 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisini, desteğini, sabrını, yardımlarını esirgemeyen ve bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkısı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Zuhal Şimşek'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez jürimde yer almayı kabul ederek, kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Prof. Dr. Nilüfer Akıncıtürk'e ve Doç.Dr.Elif Uğurlu Sağın'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamında incelenen binaların bulunma aşamalarında sağlamış oldukları katkılardan dolayı Murat Şahin'e, Emre Karasu'ya, Dr. Orkun Yıldırım'a, Mustafa Yıldız'a, Murat Öngü'ye, Gülşah Büyük'e, Ümit Serpen'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca attığım tüm adımlarda yanımda olarak, her türlü katkıyı ve desteği sağlayan anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Pınar ORUÇ
10/01/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1. Sürdürülebilir Yapılar 4
2.2. Yangın Risk Analiz Yöntemleri 9
2.3. Sürdürülebilir Yapılarda Yangın Riskleri 12
2.3.1. Bina Tasarım Özelliklerine Göre Yangın Riskleri 13
2.3.2 Alan Seçimi ve Kullanımına İlişkin Yangın Riskleri 17
2.3.3 Taşıyıcı Sistem Kaynaklı Yangın Riskleri 21
2.3.4 Malzeme Seçimine İlişkin Yangın Riskleri 26
2.3.5. Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Yangın Riskleri 30
2.3.6. Bina Sistemleri ve Alternatif Enerji Kaynaklarında Yangın Riskleri 48
3. MATERYAL ve YÖNTEM 69
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 78
4.1.Sürdürülebilir Yapılarda Yangın Riskleri 78
4.1.1.Yapı Tasarım Özellikleri 79
4.1.2.Donatı Malzemeleri 89
4.1.3.Alan Seçimi ve Yerleşimi 92
4.1.4.Yapı Elemanları ve Katmanları 101
4.1.5.Cephe Özellikleri 113
4.1.6.Çatı Elemanları ve Katmanları 121
4.1.7. Alternatif Enerji Sistemleri 128
5. SONUÇ 140
KAYNAKLAR 144
EKLER 152
ÖZGEÇMİŞ 168

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Derece Santigrat
R	Yük taşıma kapasitesi
I	Bütünlük
E	Yalıtım
W/m°C	Isıl iletkenlik katsayısı
kg/m2	Basınç
W/m2	Solar Radyasyon
λ	Uç hız oranı
Km/h	Hız
kW	Kilowatt
MW	Megawatt

Kısaltmalar	Açıklama
CO2	Karbondioksit Gazı
FPRF	Fire Protection Research Foundation
BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
CFC	Kloroflorokarbon
HCFC	Hidrokloroflorokarbon
OHSAS	Occupational Health and Safety Management Systems
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
PHA	Preliminary Hazard Analysis
HAZOP	Hazard and Operability
HTA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
FTA	Hata Ağacı Analizi
CLT	Çapraz Lamine Ahşap
SCL	Yapısal Kompozit Ahşap
TCC	Ahşap Beton Kompozit
DLT	Kavelalı Alamine
NLT	Çivili Lamine Ahşap
MPP	Masif Kontraplak Panel
FRP	Fiber reinforced plastics
PV	Fotovoltaik
YERT	Yatay eksenli rüzgâr türbinleri
DERT	Düşey eksenli rüzgâr türbinleri
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
ODP	Ozone Depleting Potential
GWP	Küresel ısınma potansiyeli
NASFM	National Association of State Fire Marshals
ÇEDBİK	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
ABD	Amerika Birleşik Devletleri

NFPA	The National Fire Protection Association
MIL_STD_882	MILITARY STANDARD: SYSTEM SAFETY_882
PVC	PolivinilKlorür
EPS	Expanded Polistiren
XPS	Ekstrüde Polistiren
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Yapı tasarımının yatay eksende hava akımına etkisi.....	14
Şekil 2.2.	Pasif havalandırma da hava sirkülasyonu.....	15
Şekil 2.3.	Yapı elemanlarının yangına dayanım performansları.....	23
Şekil 2.4.	Endüstriyel ahşap türleri.....	24
Şekil 2.5.	Yalıtım camı birimi kesiti.....	34
Şekil 2.6.	Isı kontrol (Low-E) kaplamalı yalıtım camı.....	35
Şekil 2.7.	Isı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı yalıtım camı	36
Şekil 2.8.	Yeşil Çatı Katmanları.....	39
Şekil 2.9.	GSW binası doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemi örneği.....	43
Şekil 2.10.	Doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri.....	43
Şekil 2.11.	Mekanik havalandırmalı çift kabuk cephe.....	44
Şekil 2.12.	Karma havalandırmalı çift kabuk cephe.....	44
Şekil 2.13.	Çift katmanlı cephe tipleri.....	45
Şekil 2.14.	Çift kabuk cephelerde yangının ilerlemesi.....	46
Şekil 2.15.	PV hücrenin çalışma ilkesi.....	50
Şekil 2.16.	Fotovoltaik panel sistem elemanları.....	51
Şekil 2.17.	Yatay ve Dikey eksenli rüzgâr türbin elemanları.....	55
Şekil 2.18.	Rüzgâr yönüne göre türbinler.....	56
Şekil 2.19.	Düşey rotor tipleri.....	57
Şekil 2.20.	Hidrojen yakıt pili güç sistemleri.....	60
Şekil 2.21	Şebeke suyu ile yağmur suyu tesisatının bina içerisinde bir depoda birleştirilmesi	67
Şekil 4.1.	Sürdürülebilir yapılarda yangın risklerine ait konu başlıkları.....	78
Şekil 4.2.	Yapı tasarım özelliklerine ait alt başlıklar	79
Şekil 4.3.	Düşeyde açık alan örneği.....	81
Şekil 4.4.	Yatayda açık sirkülasyon alanları.....	83
Şekil 4.5.	Yatayda açık ofis tasarım örneği.....	83
Şekil 4.6.	Pik ve PVC yağmur iniş boruları.....	86
Şekil 4.7.	Alan seçimi ve yerleşimine ait başlıklar.....	92
Şekil 4.8.	Kot farkı örneği.....	98
Şekil 4.9.	Bodrum kat acil durum tahliye örneği.....	99
Şekil 4.10.	Bodrum kat acil durum tahliye örneği.....	100
Şekil 4.11.	Yapı elemanları ve katmanlarına ait alt başlıklar.....	101
Şekil 4.12.	Cam bölme kullanımı örneği.....	103
Şekil 4.13.	Ahşap duvar kaplaması örneği.....	104
Şekil 4.14.	Kompozit duvar kaplama örneği.....	105
Şekil 4.15.	Ahşap akustik duvar ve tavan panelleri.....	106
Şekil 4.16.	Kumaş kaplı akustik duvar paneli örneği	107

Şekil 4.17. Ahşap tavan kaplama örneği..... 108
Şekil 4.18. Kumaş tavan kaplama örneği..... 109
Şekil 4.19. Petek asma tavan kaplaması örneği..... 109
Şekil 4.20. PVC zemin kaplama örneği..... 111
Şekil 4.21. Parke zemin kaplama örneği..... 111
Şekil 4.22. Yükseltilmiş zeminde halı kaplama örneği..... 112
Şekil 4.23. Cephe özelliklerine ait alt başlıklar..... 113
Şekil 4.24. Cephe ahşap kaplama proje detayı..... 117
Şekil 4.25. PVC tente örneği..... 120
Şekil 4.26. Çatı elemanları ve katmanlarına ait alt başlıklar..... 121
Şekil 4.27. Poliüretan dolgulu alüminyum levha kullanılan çatı kesiti... 125
Şekil 4.28. Polikarbon malzeme ışık geçirgen sistem örneği..... 127
Şekil 4.29. Alternatif enerji sistemleri özelliklerine ait alt başlıklar..... 128
Şekil 4.30. Korunumlu kablo kullanılan PV panel sistemi örneği..... 130
Şekil 4.31. Korunumlu kablo kullanılmayan PV panel sistemi örneği... 131
Şekil 4.32. Kapalı hacimde bulunmayan atık depolama sistemi..... 137

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Dünyadaki toplam enerji ihtiyacının türlerine göre dağılımı	4
Çizelge 2.2.	Ahşap türlerinin termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık karşısında değişim grafiği.....	25
Çizelge 2.3.	Dönemlere göre kullanılan ısı yalıtım malzemeleri.....	32
Çizelge 2.4.	Low-e ve Düz Cam tiplerinin sıcaklık karşılaştırması.....	37
Çizelge 2.5.	Rüzgâr türbini sınıflandırması.....	55
Çizelge 2.6.	Nükleer enerji kullanımının ülkelere göre dağılımı.....	63
Çizelge 2.7.	Kişi başına düşen yıllık su miktarının yıllara göre değişimi	66
Çizelge 2.8.	Günlük evsel su tüketim oranları.....	68
Çizelge 3.1.	İbadethane 'ye ait yapı künyesi.....	69
Çizelge 3.2.	Tekstil fabrikasına ait yapı künyesi.....	69
Çizelge 3.3.	Alışveriş merkezine ait yapı künyesi.....	70
Çizelge 3.4.	Kamu binasına ait yapı künyesi.....	70
Çizelge 3.5.	Hastaneye ait yapı künyesi.....	70
Çizelge 3.6.	Ofis binasına ait yapı künyesi.....	70
Çizelge 3.7.	Terminal binasına ait yapı künyesi.....	71
Çizelge 3.8.	Kongre merkezine ait yapı künyesi.....	71
Çizelge 3.9.	Malzeme fabrikasına ait yapı künyesi.....	71
Çizelge 3.10.	Ofis binasına ait yapı künyesi.....	71
Çizelge 3.11.	Kamu binasına ait yapı künyesi.....	72
Çizelge 3.12.	Tez akış şeması.....	74
Çizelge 3.13.	Olasılık skoru derecelendirmesi.....	75
Çizelge 3.14.	Şiddet skoru derecelendirmesi.....	76
Çizelge 3.15.	L tipi skor atrisi.....	76
Çizelge 3.16.	Risk skoru derecelendirmesi.....	77
Çizelge 4.1.	İncelenen yapıların tasarım özelliklerine ait yangın risk skoru tablosu.....	80
Çizelge 4.2.	Düşeyde açık alana ait yapı tespit formu verileri.....	82
Çizelge 4.3.	Yatayda açık alana ait yapı tespit formu verileri.....	82
Çizelge 4.4.	Şaftların korunumuna ait yapı tespit formu verileri.....	84
Çizelge 4.5.	Pvc yağmur iniş borularına ait yapı tespit formu verileri.....	86
Çizelge 4.6.	Saydam yüzeylerin fazla olması ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	87
Çizelge 4.7.	Pasif soğutma ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	88
Çizelge 4.8.	Düzensiz cephe geometrisine ait yapı tespit formu verileri..	89
Çizelge 4.9.	İncelenen yapıların donatı malzemelerine ait yangın risk skoru tablosu.....	90
Çizelge 4.10.	İç mekân bitkilendirmeye ait yapı tespit formu verileri.....	91
Çizelge 4.11.	Yapıların alan seçimi ve yerleşimine ait yangın risk skoru tablosu.....	93
Çizelge 4.12.	İklim bölgesi ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	94
Çizelge 4.13.	Rüzgâr yönü ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	94
Çizelge 4.14.	Binanın yerleşimine ait yapı tespit formu verileri.....	95
Çizelge 4.15.	Çevre yapılar ile yakınlık'a ait yapı tespit formu verileri.....	96

Çizelge 4.16.	Bölgedeki yapı yoğunluğuna ait yapı tespit formu verileri...	97
Çizelge 4.17.	Zemin altı katlar ve kot farkının kullanılması ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	98
Çizelge 4.18.	Gölgelendirme amaçlı peyzaj elemanı ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	100
Çizelge 4.19.	Yapıların yapı elemanı ve katmanlarına ait yangın risk skor tablosu.....	102
Çizelge 4.20.	Duvar katmanlarına ait yapı tespit formu verileri.....	104
Çizelge 4.21.	Akustik yalıtıma ait yapı tespit formu verileri.....	106
Çizelge 4.22.	Tavan katmanlarına ait yapı tespit formu verileri.....	108
Çizelge 4.23.	Zemin katmanlarına ait yapı tespit formu verileri.....	110
Çizelge 4.24.	İncelenen yapıların cephe özelliklerine ait yangın risk skor tablosu.....	114
Çizelge 4.25.	Yalıtım malzemelerine ait yapı tespit formu verileri.....	115
Çizelge 4.26.	Cephe kaplama malzemelerine ait yapı tespit formu verileri	116
Çizelge 4.27.	Çift kabuk sistemlere ait yapı tespit formu verileri.....	119
Çizelge 4.28.	Güneş kırıcılar ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	119
Çizelge 4.29	Tenteler ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	120
Çizelge 4.30.	Yapıların çatı elemanları ve katmanlarına at yangın risk skor tablosu.....	122
Çizelge 4.31.	Çatı konstrüksiyonuna ait yapı tespit formu verileri.....	123
Çizelge 4.32.	Çatı yalıtım malzemesine ait yapı tespit formu verileri.....	124
Çizelge 4.33.	Çatı kaplama malzemesine ait yapı tespit formu verileri.....	124
Çizelge 4.34.	Yeşil çatı ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	126
Çizelge 4.35.	Işık geçirgen çatı sistemleri ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	127
Çizelge 4.36.	Yapıların alternatif enerji sistemlerine ait yangın risk skor tablosu.....	129
Çizelge 4.37.	Fotovoltaik sistemlere ait yapı tespit formu verileri.....	131
Çizelge 4.38.	Rüzgar türbini sistemlerine ait yapı tespit formu verileri.....	133
Çizelge 4.39.	HVAC sistemine ait yapı tespit formu verileri.....	134
Çizelge 4.40.	Su depolama-dönüştürme sistemlerine ait yapı tespit formu verileri.....	135
Çizelge 4.41.	Elektrikli araç şarj istasyonu ile ilgili yapı tespit formu verileri.....	136
Çizelge 4.42.	Kojenerasyon sistemlerine ait yapı tespit formu verileri.....	136
Çizelge 4.43.	Atık toplama merkezleri ile ilgili yapı tespit formu verileri..	137
Çizelge 4.44.	İncelenen yapıların önlem öncesi yangın risk skoru grafiği	138
Çizelge 4.45.	İncelenen yapıların önlem sonrası yangın risk skoru grafiği	139

1. GİRİŞ

Yapılar, kullanım süreci boyunca dayanıklılık, esneklik ve konfor koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu süreçte yapının çevresel faktörlere karşı dayanıklı olması amacıyla ısı, su, ses ve yangına karşı çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemler yapılarda konfor koşullarının sağlanabilmesi ve dayanıklılık amacıyla alınmaktadır. Bu etmenler arasında yangın, etkisini çok kısa sürede göstererek kullanıcıların can ve mal güvenliğini tehlikeye atması, yapı hasarına neden olması sebepleriyle diğerlerinden ayrılmaktadır. Olası bir yangının en az zararla atlatılabilmesi için, yapıda tasarım ve inşa süreçlerinde yangın önlemlerinin alınarak, kullanım süresince düzenli aralıklarla kontrolleri yapılması gerekmektedir. Yapı da yangın meydana geldikten sonra önlem alınması mümkün değildir. Yalnızca çevrenin uygun olduğu yapılarda tahliye ve söndürme ekipleri arttırılarak yangının zararlı etkileri bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Bu doğrultuda alınan aktif ve pasif yangın güvenlik önlemleri büyük önem taşımaktadır. Kullanılan malzeme ve sistemlerin yangın davranışı yangının seyrini etkileyeceğinden seçimler yapılırken yangın güvenliği düşünülmelidir.

20. ve 21. Yüzyıllarda dünya çapındaki teknolojik gelişmeler, sanayi faaliyetleri ve kentleşmenin artışı enerjiye duyulan ihtiyacında ivmeli bir şekilde artışına sebep olmuştur. Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl içerisinde oluşması ve yenilenemeyen kaynaklar olması sebebiyle belirli bir süre sonra tükenecekleri bilinmektedir. Bunun yanı sıra fosil yakıtlardan enerji elde edilirken ortaya çıkan CO2 gazının atmosfere salınımının artışı, atmosferin emisyon gücünü azaltarak ekolojik denge de bozulmalar meydana getirecektir. Bu doğrultuda enerji ihtiyacının düşürülmesi ve alternatif kaynakların kullanılmasına yönelik sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram, enerjinin korunumunu, verimli kullanılmasını, çevreye verilen zararın azaltılmasını, fosil yakıtlar yerine alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik uygulamaları kapsamaktadır. Yapıların üretim aşamasından kullanım ömrünü tamamlayana kadar geçen süreçte duyduğu enerji ihtiyacının sürdürülebilir uygulamalar ile karşılanması amacıyla yapılarda çeşitli malzemeler ve sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Çevreye yararlı olması, enerji ihtiyacını azaltması amacıyla geliştirilen ve kullanılan bu uygulamalar geleneksel yöntemlere göre oldukça yeni olmaları sebebiyle etkileri tam olarak bilinmemektedir. Amerika'da bir üniversite tarafından yapılan Fire Protection Research Foundation (FPRF) tarafından desteklenen bir çalışma da Amerika'daki son 10 yılın yangın verileri incelenirken, yeşil bina uygulamalarının yangının yayılmasında etkili olduğu çok sayıda yangın meydana geldiği görülmüştür. İngiltere, Almanya, İtalya ve dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan çalışmalarda raporlanan yangın verileri sürdürülebilir uygulamalar kapsamında analiz edildiğinde kullanılan malzeme ve sistemlerin neden olduğu yangınlar tespit edilerek sonuçlar yayınlanmıştır. Ülkemizde son 15 yılda meydana gelen yangınlar incelendiğinde yapılarda enerji korunumu sağlamak için kullanılan malzemelerden dolayı meydana gelen yangınlar olduğu gözlenmiştir. Bu doğrultuda sürdürülebilir yapı malzemeleri ve sistemlerinin yangın risklerine etkisi olduğu belirlenmiştir.

İlk olarak 1980'lerde Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından ortaya atılan sürdürülebilirlik kavramı gün geçtikçe yaygınlaşmakta, konu hakkında yapılan çalışmaların ve uygulamaların kapsamı giderek genişlemektedir. Sürdürülebilir yapı uygulamalarının yaygınlaşması ve beraberinde meydana gelen yangınların artması, mevcut yangın güvenlik önlemlerinin tekrar değerlendirilmesini gündeme getirmiştir. Bu doğrultuda yapılarda sürdürülebilirlik ile ilgili uygulamaların oluşturduğu yangın riskleri ve olası bir yangında insanlara vereceği zararlara dikkat çekilmiştir. Bununla birlikte yeşil bina uygulamalarında yangın risklerinin anlatılarak yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'e konuyla ilgili standartların ve hükümlerin getirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca sürdürülebilir uygulamalarda sistem ve malzeme üreticilerinin ürünlerini yangın güvenliği açısından geliştirmeye yönelik çalışmalarında ve mimar, mühendislerin tasarım ve uygulamalarında yol gösterici bir föy oluşturmak istenmiştir.

Tez kapsamında uluslararası yeşil bina sertifikasına sahip 11 yapıdaki sürdürülebilirlik uygulamaları incelenmiştir. Bu yapılar seçilirken alışveriş merkezi, hastane, kongre merkezi, fabrika gibi farklı fonksiyonlara sahip, kullanıcı sayısının fazla olduğu yapılara yer verilmiştir. Sürdürülebilirlik kapsamında kullanılan ve yangında risk faktörü

oluşturduğu bilinen sistem ve malzemeler yapı özelinde değerlendirilmiştir. Her bir uygulamanın tek başına oluşturduğu yangın riski ve mevcut yangın güvenlik önlemleriyle oluşturduğu yangın riskleri belirlenerek, L matris yöntemiyle riskin dereceleri tespit edilmiştir. Bu doğrultuda risklerin önlem öncesi ve önlem sonrası oluşturduğu yangın risk seviyeleri belirlenmiştir. Bununla birlikte farklı yapı tiplerinde bulunan aynı sistem ve malzemelerin farklı şekillerde kullanımındaki risk değişimleri de incelenerek çalışmanın güvenilirliği sağlanmak istenmiştir.

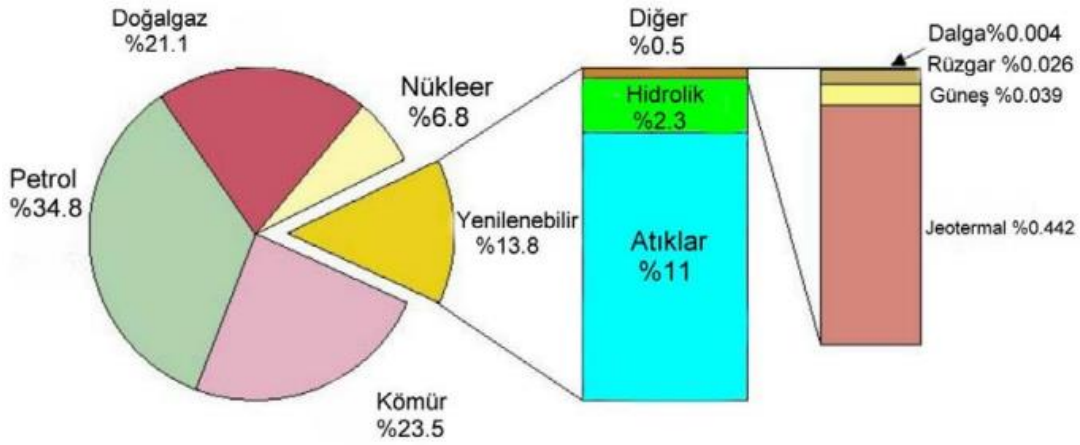
Ülkemizde sürdürülebilirlik uygulamaları yaygın olarak kullanılmasına rağmen meydana getirdiği yangın riskleriyle ilgili mevzuatta ve uygulamalarda herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Konuyla ilgili risklerin incelendiği literatür çalışmalarının da sınırlı düzeyde olduğu görülmüştür. Sürdürülebilirlik uygulamaları dolayısıyla meydana gelen yapı yangınları da giderek artmaktadır. Bu kapsamda alınması gerekli yangın güvenlik önlemlerinin belirlenerek öncelikle yüksek risk taşıyan uygulamalarda önlemlerin ivedilikle alınması gereklidir. Bu çalışma da sürdürülebilir yapılarda yangın risklerinin sayısal verilerle analiz edilerek sonuçlara ulaşılması ve uygulamaların risk seviyelerinin sınıflandırılması sağlandığından literatürdeki boşluğu dolduracak nitelikte bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra incelenen yeşil binaların tümünde yürürlükteki Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) kapsamına uygun yapılar değerlendirildiğinden mevzuattaki hangi uygulamaların yetersiz kaldığı açıkça görülmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sürdürülebilir Yapılar

Yapılar, üretim aşamasından kullanım ömrünü tamamlayana kadar geçen sürede doğal kaynaklardan yararlanır. Dünyada kullanılmakta olan enerjilerin % 90'ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. (Sayın, 2006) Kömür, petrol, doğalgaz bu yakıtlardan olmakla birlikte milyonlarca yıl içinde oluşan bu enerji kaynaklarının tükenecekleri aşikardır. Yapım teknolojilerinin gelişmesi, endüstrileşme, nüfus artışı yapı sektöründe üretimi arttırmakta ve enerji kaynaklarının daha hızlı tükenmesine sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda yapı üretim ve kullanım süreçlerinde ortaya çıkan sera gazları ve zehirli gaz salınımları (CFC, HCFC vb.) toplam kullanımın %50'sini oluşturmaktadır. Su kirliliğinin %40'ı, hava kirliliğinin %24'ü yapılarla ilişkilendirilmiştir. Bu bağlamda enerji etkinliği kavramı ortaya çıkmıştır. (Dikmen, 2011)

Çizelge 2.1. Dünyadaki toplam enerji ihtiyacının türlerine göre dağılımı (Sayın, 2006)



Sürdürülebilirlik, yapının kullanım süresince, konfor koşullarından ve yaşam kalitesinden ödün vermeden, kullanılan enerjiyi minimuma indirmektir. Geniş anlamda günlük yaşamda kullanılan gaz, ısı, elektrik, hava, buhar gibi her tür enerjinin gereksiz yere kullanımının engellenmesidir. Aynı zamanda atıkların geri kazanılması, malzeme seçimi yaparken uzun ömürlü olanların tercih edilmesi, daha az enerji ile aynı işlevi gören teknolojik ürünlerin kullanımına yönelim, yaşam kalitesini düşürmeden enerjiyi verimli kullanmanın yollarındandır. (Narin ve ark., 2006)

Bir yapının, üretim sürecinden itibaren çevresel koşullar göz önünde bulundurularak, doğal kaynaklardan maksimum fayda sağlanacak biçimde tasarlanmasıyla sürdürülebilir yapılar elde edilir. Tasarım sürecinin her aşamasında, binada sürekli enerji ihtiyacı doğuracak olan; aydınlatma, ısıtma-soğutma, havalandırma sistemlerinin performansını en üst düzeye çıkarabilmek, alınan enerjinin korunumunun ve denetiminin sağlanması, enerji etkin yapı tasarımındaki temel amaçlardandır. (Dikmen, 2011) Bir yapıda enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için, (Çelebi ve Tosun, 2011)

- Kullanılacak malzeme ve yapı bileşenlerinin üretimi, taşınması, montajı, kullanım ömrü, enerji açısından performansı,
- Yine bu malzemelerin çevreye vereceği zarar, atık miktarı, geri dönüştürülebilir olması,
- Bina formu ve yapı kabuğunun çevre koşulları ve enerji giriş çıkışı bağlamında ele alınması,
- Aktif ve pasif sistemlerin yapıda kullanımına yer verilmesi,
- Yapının konumlanışının doğal kaynaklardan maksimum yarar sağlayacak şekilde planlanması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yer verilmesi,
- Yapı ömrünün uzunluğu açısından değişen koşullara uyum sağlayabilecek bina tasarlanması gerekmektedir. (Gültekin ve ark. 2009, Özhan 2017)

İnsanlar tarafından tasarlanacak her türlü yapı, doğal çevrenin kendisi olmadığı, yapay bir çevre oluşturacağı için çevreye zararı olacaktır. Sürdürülebilir yapı üretimi ise bu zararın en az seviyeye indirilmesini amaçlamaktadır. (Karataş, 2004) Aynı zamanda kullanıcının konforundan ödün verilmeden bunu sağlamak, inşaat öncesi yapının farklı açılardan ele alınmasını gerektirmektedir. Bu parametreler ise şu şekilde başlıklar haline getirilebilir;

- Topoğrafya
- İklim
- Konumlanma
- Form
- Yapı Kabuğu
- Malzeme Seçimi

- Taşıyıcı Sistem Seçimi
- Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Topoğrafya: Topoğrafya sözlükte ‘‘*Bir arazi yüzeyinin tabii veya suni ayrıntılarının meydana getirdiği şekil.’’* olarak açıklanmaktadır. (Varlık, t.y.) Yapı tasarlanmadan önce, doğal çevrenin, toprak yapısının, eğimin, denize olan mesafenin, rakım’ın bilinmesi; kısacası çevre koşullarının tanınması enerji etkin bina tasarımında başlıca kararların alınmasını sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından, güneş ve rüzgârdan faydalanma şekilleri ve süreleri her topoğrafyanın karakteristik özelliklerine göre değişebilmektedir. (Kobalas, 2015)

İklim: Bir coğrafyaya ait iklim koşulları, o bölgenin ısı, sıcaklık, nem ve rüzgâr değerlerini belirlediği için yapı tasarımında önemli bir yere sahiptir. Farklı iklim bölgelerindeki iki yapının iklim koşulları çerçevesinde gereklilikleri tamamıyla farklı olabilmektedir. Türkiye’deki bölgeler incelendiğinde ise güneşlenme süreleri arasında ciddi farklar olmadığı tespit edilmiştir. Günlük güneşlenme sürelerinin yüksek olduğu bölgelerde ısıtma, aydınlatma maliyetlerinin düşürülecek şekilde yapı tasarlanmalı, gereksiz enerji kullanımın önüne geçilmelidir. İklimsel veriler ışığında, yapının geçeceği açıklıklar ve güneş ışınlarının yapıya geliş açısı hesaba katılmalıdır. (Aksungur ve ark., 2013)

Konumlanma: Bir yapının topoğrafya ve iklim gibi dış etmenleri belirlendikten sonra, tasarım kararlarında etkili olacak bir diğer ana madde ise konumlanmadır. Binanın, çevresindeki doğal ya da yapma çevre elemanlarıyla ilişkisini aradaki mesafe ve yönlenim ile belirler. Bölgedeki güneş ışığından optimum oranda fayda sağlayabilmek için güneş ışığının geliş açısı hesaba katılmalıdır. Aynı zamanda hâkim rüzgâr yönü de yapıda konfor koşullarının sağlanabilmesi için önemli bir etkendir.

Rüzgâr, güneş, yağmur gibi iklime bağlı olan ve önlemler alınmadığında bina performansını negatif şekilde etkileyebilecek, enerjinin verimli kullanılmasına engel olabilecek etmenler; bina konumlanmasının düşünülerek yapılması durumunda olumsuz etkilerden korunabilir. (Anonim, t.y.)

Yapı Formu: Binaların tasarım aşamasında karakterini belirleyici temel öğelerden biri formdur. Yapının hacmi, ihtiyacı karşılayacak ölçüleri sağlamalı, dokuya uygun bir tasarım yapılmalıdır. Ayrıca hacmi ve dışarıyla temas eden yüzeylerin alanının form ile belirlendiği gözden kaçırılmamalıdır. Yapıdaki enerjinin giriş çıkışının sağlandığı yüzeylerde enerji kayıpları engellenecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Yapı formunun belirlenmesinde enerji verimliliği açısından da tek bir doğru yoktur. Bölgenin ve yapının ihtiyacına göre form şekillenmelidir.

Yapı Kabuğu: Yapı kabuğu, bilindiği üzere yapıyı dış ortamdan ayıran yapı elemanlarının bütünüdür. Sürdürülebilir yapılarda doğal enerji kaynakları kullanımı ve enerjinin korunumunu yapı tasarımındaki en temel öğelerdendir. Bu yüzden tasarlanacak olan yapı kabuğunun, güneş ışığından en iyi şekilde yararlanması istenmektedir. Enerji etkin yapı kabuğu, iç-dış ortama geçişi sağlarken olumsuz özelikleri filtreleyebilmelidir. Bu yüzden geçilen açıklıklarda yapının içerisinde bulunduğu koşullara ve kullanım tipine uygun olarak, çift kabuk sistemler, düşük enerji performans camları, çift cam kabuk sistemler gibi enerji korunumuna destek sağlayacak cephe sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. (Boduroğlu ve ark., 2010). Aynı zamanda yapı kabuğunda kullanılan yalıtım malzemeleri de sistemin enerji ihtiyacı göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Malzeme Seçimi: Yapı üretim aşamalarında seçilen malzemeler yapıyı yaşam ömrü boyunca etkileyecek elemanlardır. Seçimler yapılırken yerel malzeme olması, ham madde işlenmesi, taşınması, kullanımı, malzemenin tasarruflu kullanılabilmesi ve yaşam ömrünü tamamladıktan sonra geri dönüşümünün sağlanabiliyor olması, doğada yok olma süresinde çevreye verebileceği zararlar göz önünde bulundurulmalıdır. (Tekin, 2012)

Taşıyıcı Sistem Seçimi: Yapı ölçeklerinin farklılaşması ve yapım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte taşıyıcı sistemlerde çeşitli uygulama ve elemanların kullanılma imkânı ortaya çıkmıştır. Geleneksel mimarideki ahşap strüktürler yerini betonarme, çelik, kompozit yapı sistemleri almıştır. Her bir sistemin avantajları ve dezavantajları olabilmektedir. Taşıyıcı sistem seçiminde yapının yüksekliği, ölçeği, konumlanacağı araziye göre seçimleri yapılmalıdır. Çelik ve kompozit yapı sistemleri betonarme yapılara oranla oldukça hafiftir. (İnce ve ark., 2015) Yapıdaki yükün az oluşu malzemenin

gereksiz kullanımı ve enerji kayıplarının da önüne geçmektedir. Bunun yanı sıra prefabrik sistemler ön üretimli olması sebebiyle yapım sürecinde enerji kayıpları daha az olacaktır. (Amani, 2018)

Yenilenebilir Enerji Kullanımı: Fosil yakıt rezervlerinin azaldığı günümüzde, bu yakıtlardan elde edilen enerjilerin sürdürülebilir olmadığı açıkça görülmektedir. Bunun yerine kendini belirli koşullarda yenileyen ve tükenmesi mümkün olmayan kaynaklara yönelmek yapıların yaşam döngüsü için daha sağlıklı bir yaklaşım olmaktadır.

- Başta güneş enerjisi olmak üzere,
- Rüzgâr,
- Hidrolik,
- Jeotermal,
- Biyokütle,
- Hidrojen,
- Okyanus enerjisi (dalga ve gel-git) olarak sıralanabilir. (Anonim, t.y.)

Yapı ile ilişkili faaliyetlerde yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygın olmama sebeplerinden en önemlileri kurulum maliyetlerinin yüksek olması, üretilen enerjinin depolanamaması, sürekliliklerinin bulunmamasıdır. (Akova, 2003) Fakat gelişen teknolojiyle yapılara daha kolay entegre edilen sistemler ve azalan kaynaklar yenilenebilir enerjilere yönelimi arttırmaktadır.

Ana başlıkları yukarıda verilen sürdürülebilirlik kapsamındaki uygulamaların günden güne geliştirilerek çeşitlendiği bilinmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların enerji verimliliğine ve çevreye katkılarının belirlenmesi, sınıflandırılması ve değerlendirilmesi amacıyla sürdürülebilir yapı sertifika sistemleri oluşturulmuştur. Bu sertifika sistemlerinin ilki, 1990 yılında İngiltere'de çıkartılan BREEAM sertifikasıdır. Günümüzde 100'den fazla sertifika sistemi bulunduğu bilinmektedir. Ülkelerin kendi koşulları ve sürdürülebilirliği ele alma şekline göre yeşil bina sertifikaları da farklılaşmıştır. Sertifika sistemlerinin her biri uygulamalarda belirli standartların oluşturulması ve uygulamaların değer kazanarak yaygınlaşmasını sağlamak amacıyla meydana getirilmiştir. Bunlardan en bilinenleri ise LEED, BREEAM, DGNB, GreenStar sertifika sistemleridir. LEED sertifikası ABD'nin, BREEAM İngiltere'nin, DGNB

sertifikası Almanya'nın, GreenStars Yeni Zelanda'nın yeşil bina sertifika sistemidir. Ülkemizde bu kapsamda yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu sertifikalar, uluslararası geçerlilikte olup, ülkemizde de bu sistemlerden akreditasyon sağlanarak sertifika alan birçok yapı bulunmaktadır.

2.2. Yangın Risk Analiz Yöntemleri

Yangın, ilk çağlarda ateşin bulunmasından önceki dönemlere uzanan bir doğa olayı olarak karşımıza çıkmıştır. Ateşin bulunması insanlığın teknolojik olarak ilerlemesinde büyük rol oynamıştır. Isı ve ışık kaynağı olmuştur. Fakat bahsedilen yanma olayı kontrolsüz ve büyük boyutlarda olduğunda yangın olarak adlandırılır. (Gür, 2003) Bu yüzden yangın olgusu irdelenmeden önce yanma olayının tanımlanması gerekmektedir. Yanma, yanıcı maddenin hızlı bir oksitlenme ile en az tutuşma sıcaklığında meydana gelen ekzotermik tepkimeye denir.

Bir ortamda yanma reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için 3 öğenin bir arada bulunması gereklidir;

- Yanıcı Madde
- Isı
- Oksijen

Bu maddelerin birbiriyle etkileşimi yanma olayı boyunca devam ettiğinden zincirleme bir reaksiyon oluşturur ve adına 'yanma üçgeni' denir. (Yorulmaz, 2002)

Yangın özünde bir doğa olayı olmasına rağmen yapılı çevrede meydana geldiğinde insanların can ve mal güvenliğinin tehlikeye girmesine, yapılarda hasara ve yıkıcı etkilere sebep olmaktadır. Yapı yangınları, yalnızca yangının direkt etkisinden değil, yapı da tahliyenin geciktiği durumlarda dumanın ve zehirli gazların solunması ile can kayıplarına sebep olması açısından açık alan yangınlarından ayrılmaktadır. Bunun yanı sıra yapı yangınlarında binada meydana gelen çökmeler ve patlama olayları da insan hayatını tehlikeye atmaktadır. Avrupa'da yangın verileri toplanarak yapılan bir araştırma da raporlanan yangınların %90'ı yapılarda olduğu, can kayıplarının %50'sinin ise zehirli gaz ve duman solunması sebebiyle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapı yangınlarında tehlikelerin daha fazla olduğu bilinmektedir. Giderek artan kentleşme ve

nüfusun yoğunlaşması yapılaşmanın hızlanmasına sebep olmuştur. Bu doğrultuda ortaya çıkan tehlikelerde doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Türkiye'de yangın verileri incelendiğinde, 2013-2017 yılları arasında raporlanan yapı yangınlarının bir önceki beş yıla göre %22,6 oranında arttığı gözlenmiştir. Alınan yangın önlemlerin düzeylerine bakıldığında, önlemlerin arttırılmasına rağmen meydana gelen yapı yangınlarının da arttığı saptanmıştır. (Kılıç, 2018)

Risk Analizi

Türk Dil Kurumu tarafından risk '*zarara uğrama tehlikesi, riziko*.' olarak tanımlanmaktadır. Bir konu da risklerin değerlendirilerek büyüklüğünün ve etkilerinin tespiti, kabul edilebilir düzeyde olup olmadığını belirler. Bir anlamda risk değerlendirilmesi, maddi manevi zarar verici nitelikte, gerçekleşen ya da gerçekleşme ihtimali olan tehlikelerin ortaya çıkarılarak önlemler alınması için gerekli çalışmalardır. (Kendirli ve ark., 2020)

Risk değerlendirilmesi OHSAS 18001'de;

''Riskin büyüklüğünü hesaplama ve riskin tolere edilebilir olup olmadığına karar verme yani riskleri makul bir seviyeye indirebilmek için gerekli tedbirlerin belirlenmesi ve bu tedbirlerin hangilerinin öncelikle alınması gerektiğine karar verilmesi işlemi.'' (Özkılıç, 2014)

89/391/EEC Sayılı Avrupa Birliği Konsey Direktifinde;

"İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin, işçilere, işyerine ve çevresine verebileceği zararların ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla yapılması gerekli çalışmalar.'' Olarak tanımlanmaktadır. (Özkılıç, 2014)

Yangın riski, yapılarda yangının başlamasına ya da ilerlemesine neden olacağı düşünülen tehlikelerle karşılaşılması ihtimalidir. Yapı da yangın başladıktan sonra saniyeler içinde gelişmesi ve ilerlemesi sebebiyle yangın anında yapılan müdahalelerin etki düzeyi kesin olarak bilinmemektedir. Bu sebepten, yangın risklerinin yapının üretim, tasarım aşamalarında tespit edilerek önlemlerinin alınması ve kullanım süresince belirli aralıklarla kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Yangın riski oluşturan uygulamaların,

tehlike düzeylerinin saptanması ve bu doğrultu da önlemlerin alınmasında çeşitli risk analiz yöntemleri kullanıldığı bilinmektedir.

Risk analiz yöntemleri, dünya genelinde 1930'lu yıllardan beri uygulanmaktadır. 20.yüzyılda konuyla ilgili çalışmalar hızlanmış önemi itibariyle çeşitli yöntemler ve standartlar geliştirilmiştir. Risk analizi için 150'den fazla yöntem olduğu kaynaklarca belirtilmiştir. Bu yöntemler 3 ana başlık altında toplanabilir. (Kendirli ve ark., 2020) Bunlar ise şu şekildedir;

- Kantitatif Risk Analizi
- Kalitatif Risk Analizi
- Yarı Kantitatif Risk Analizi

Kantitatif Risk Analizi: bir diğer adıyla nicel risk analizi, sayısal verilere dayanır. Matematiksel teoremler kullanılarak riskleri sayısal olarak karşılaştırmayı ve değerlendirmeyi sağlar. L tipi matris, FMEA olası hata türleri ve etkileri analizi, Fine Kinney risk analizi, X tipi matris vb.

Kalitatif Risk Analizi: diğer adıyla nitel risk analizi, tehdidin olma ihtimali ve etkisi gibi faktörlere sayılar verilir. Bu sayılar ile mantıksal ve matematiksel risk değeri hesaplanabilir. (Kendirli ve ark., 2020) Bu tip analizlerde sonuç düşük, orta, yüksek gibi terimlerle tanımlanır. PHA-Ön tehlike analizi, HAZOP-Tehlike ve işletilebilme Analizi, FTA-Hata ağacı analizi, HTA-Hiyerarşik görev analizi vb.

Yarı Kantitatif Risk Analizi: Nitel kategoride değerlendirilebilecek risklerin sonuç ve olasılıklarını sayısal derecelendirme ölçekleriyle analiz etmek için kullanılır.

Yangın risk analizleri yapılırken yukarıdaki risk analiz metotlarının her binin kullanılması mümkündür. Yangın risk analizi**,** yangının can ve mal kayıplarına sebep olmasını engellemek adına yapı tasarımında ve kullanımında seçilecek aktif ve pasif yangın güvenlik sistemlerinin doğru seçilmesi için bir yol göstericidir. Yangın risk analizi temelde iki ayrı analizden meydana gelir. Bunlardan birisi yapıda yangın çıkma ihtimali diğeri ise ölüm, yaralanma ve mal kayıplarının miktarını belirler.

Yangın Tehlike analizi, yapıda yangın çıkma ihtimalinin değerlendirildiği analizdir ve genel anlamda şu faktörlere bağlıdır;

- Yapı kullanım amacı,
- Yapı tasarım ve malzeme özellikleri,
- Aktif ve pasif yangın güvenlik önlemleri

Konut, hastane, okul, depo, fabrika gibi farklı kullanım amacına hizmet eden binalarda tüketilen enerji miktarı, yangın yükü, kişi sayısı, yapı tasarımında kullanılan malzemelerde farklı olacaktır. Bu değişkenlere bağlı olarak ihtimaller ve alınması gereken önlemler değişecektir. (Kılıç, 2013)

Yangın Risk analizi, yangın sonrası hasar miktarının öngörülerek risklerin ortaya konduğu analizdir. Bu analiz için kullanılacak faktörler ise şu şekildedir;

- Yangının yayılma hızı,
- Yangın yükü,
- Yangın mahalinde insanların kurtarılma ihtimali,
- Yapıdaki kişilerin yoğunluğu,
- Kişilerin hareket imkânı,
- Kişilerin yaş grubu,
- Kişilerin sosyokültürel özellikleri,
- İtfaiyenin olay yerine ulaşma süresi,
- Yapı içindeki malzemelerin maddi değeri
- Yapı içindeki malzemelerin türü (tutuşma sıcaklığı) (Kılıç, 2013)

Yangın risk analizi, riskler için alınacak önlemlerin maliyetleriyle yangın olması durumunda ortaya çıkabilecek maliyetler ve can kayıpları göz önünde bulundurularak karşılaştırılarak uygulamaların belirlenmesine imkân verir. Risk yönetimi ve alınacak kararlarda kabul edilebilir risklerin belirlenmesi ancak yangının hasar tablolarının ortaya çıkarılmasıyla mantıklı bir zemine oturtulabilmektedir.

2.3. Sürdürülebilir Yapılarda Yangın Riskleri

Dünya üzerinde insan ve doğanın kendi içerisinde bir dengesi bulunmaktadır. Yapılı çevre olarak adlandırılan, insanlar tarafından üretilen üst ve alt yapı sistemlerinin de doğayla ilişkisi bulunmaktadır. Bu ilişkinin doğru kurulabilmesi için çevreye zararın önlenmesi ve enerji kaynaklarının etkin kullanılması büyük önem taşır. Enerji

kayıplarının önlenmesi ve doğadan daha fazla yararlanma amacıyla yapılan sürdürülebilirlik uygulamalarının uzun dönemde yapılara ve çevreye olumlu dönüşleri olması beklenmektedir. Ancak bu süreçte yangın faktörünün göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Son 15 yılda Dünya'da ve ülkemizde raporlanan yangınlar incelendiğinde sürdürülebilir sistem ve malzemelerin neden olduğu yangınlar görülmüştür. Bunun yanı sıra sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda kullanılan bazı sistem ve malzemelerin yangının yayılmasına sebep olduğu gözlenmiştir. Meydana gelen yangınlarda bu sistemlerin kullanım süresi boyunca sağlayacağı enerji kazançlarından daha fazla zarara sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamında kullanılan malzeme ve sistemlerin yangın riskleri açısından ele alınması, analiz edilmesi ve risklerin arttığı uygulamalarda yangın güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra yangın risklerinin önlemlere rağmen yüksek olduğu sistemler belirlenerek, tehlike sınıfı yüksek yapılarda tercih edilmemesi gerekmektedir. Bu başlık altında, yapılarda sürdürülebilirlik kapsamındaki uygulamalar ve bu uygulamaların yangın riskleri incelenerek gerekli yangın güvenlik önlemlerinde bahsedilmektedir. Sürdürülebilirlik uygulamaları yapının tasarım aşamasında, üretim aşamasında ve kullanım aşamaları gibi farklı süreçlerinde uygulandığından her bir uygulama kendi aşamasında anlatıldığından 6 ayrı başlık altında incelenmiştir. Bu başlıklar ise aşağıdaki gibidir;

- Bina Tasarım Özelliklerine Göre Yangın Riskleri
- Alan Seçimi ve Kullanımına İlişkin Yangın Riskleri
- Taşıyıcı Sistem Kaynaklı Yangın Riskleri
- Malzeme Seçimine İlişkin Yangın Riskleri
- Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Yangın Riskleri
- Alternatif Enerji Sistemleri

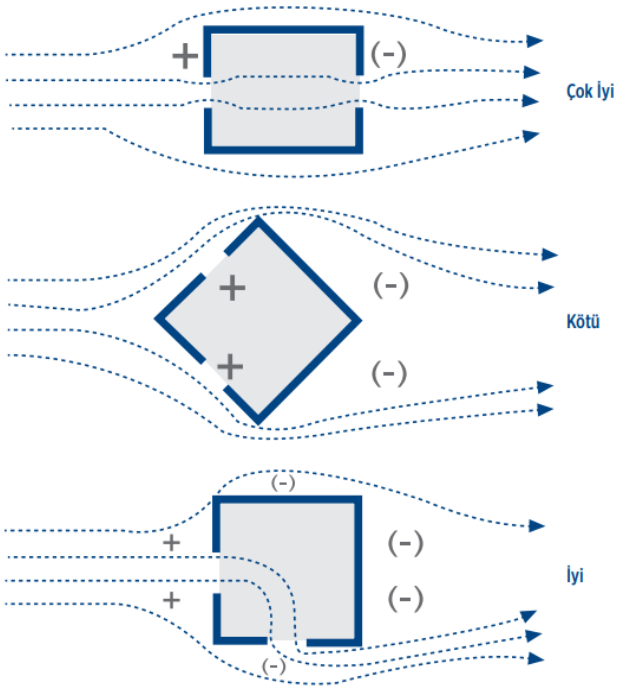
2.3.1. Bina Tasarım Özelliklerine Göre Yangın Riskleri

Yapının tasarım aşamaları, çevreyle ilişkinin planlandığı evrelerdir. Yapıların tasarım sürecinde alınan belirli kararlar, üretim ve kullanım ömrü boyunca enerji ihtiyacının doğal çevreden karşılanma yüzdesini de belirlemektedir. Bu doğrultuda yapıların ısıtma-soğutma, havalandırma ve aydınlatma yüklerinin güneş ve rüzgârdan sağlanmasına

yönelik çeşitli tasarımlar uygulanmaktadır. Bu sürdürülebilirlik uygulamalarından bazıları doğal çevreden yüksek oranda faydalanmayı sağlarken yangın açısından riskler oluşturmaktadır. Bu uygulamalar ise şu şekildedir;

- Pasif soğutma
- Atrium, galeri boşlukları
- Açık planlı tasarımlar
- Saydam yüzey oranı yüksek yapılar
- Düzensiz cephe geometrisi
- Şaftların korunumu
- Yağmur iniş boruları

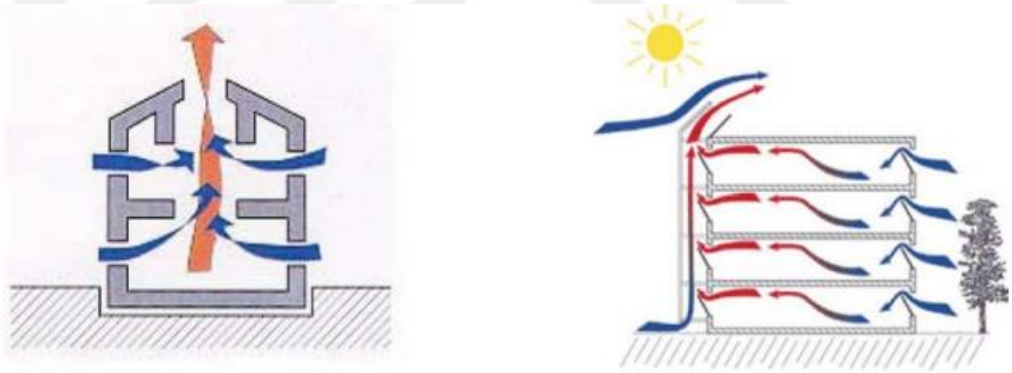
Bunlardan ilki, sürdürülebilir yapılarda pasif soğutma kullanılmasına imkân tanıyan tasarımlardır. Doğal hava akımı etkin kullanılarak yapının soğutma ve havalandırmaya duyulan enerji ihtiyacının düşürülmesi amaçlanmaktadır. Doğal havalandırma, pasif soğutma yöntemlerinin en yaygınlarından biridir. (Yıldız ve Arsan, 2009) Yapı tasarım süreçlerinde açıklıkların hava akımına uygun şekilde tasarlanması, doğal havalandırmaya imkân sağlamaktadır.



Şekil 2.1. Yapı tasarımının yatay eksende hava akımına etkisi (Ulukavak, 2016)

Şekil 2.1.'deki üç ayrı tasarımın ikisinde yapının boşlukları tasarlanırken hava akımı düşünülerek doğal havalandırma sağlanmıştır. Bu sayede soğutma yükleri ve havalandırma için kullanılacak enerji düşürülecektir. Fakat olası bir yangında, bir noktada başlayan tutuşmanın hava akımı etkisiyle bulunduğu alanın tamamına yayılma olasılığı artar. Bunun yanında dış ortamdaki oksijenin katkısıyla yangının sönme evresine geçmeden şiddetinin artışı ve yangının büyümesi, diğer kısımlara ya da varsa çevre yapılara sirayet etme olasılığını arttırır. Bu sebeple, bu tür tasarımların kullanıldığı yapılarda yangın güvenlik önlemleri alınması gereklidir.

Bir diğer doğal havalandırma uygulaması ise atrium ve galeri boşlukları oluşturmaktır. Doğal Güneş ışığında maksimum yararlanma, hava akımından yararlanma ve içerideki hava sirkülasyonunu daha az enerji harcayarak sağlama amacıyla tasarlanan bu boşluklar, olası bir yangın halinde baca görevi görerek yangının üst seviyelere hızlı bir şekilde taşınmasına ve yayılmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda zehirli gaz ve dumanda taşınacağından insanların tahliyesini zorlaştırıp, solunum zehirlenmelerine sebep olabilir. (Yüksek ve Esin, 2011)



Şekil 2.2. Pasif havalandırma da hava sirkülasyonu (Yüksek, İ. ve Esin, T. 2017)

Şekil 2.2.'de örneği verilen atriumlarda hava akımının üst katmanlara taşınırken engelle karşılaşmaması sebebiyle hızlıca yayılması yangın risklerini arttırmaktadır. Bu doğrultuda yapı tasarımlarında bu boşlukların ölçekleri yangın riskleri düşünülerek tasarlanmalı, alan yangın güvenlik önlemleri alınarak zonlara ayrılmalıdır. Bu zonlarda gerekli hallerde duman tahliyesinde mekanik sistemler kullanılmalı, yangın algılama-söndürme sistemleri bulundurulmalıdır.

Mekânın verimli kullanımı için sıklıkla kullanılan bir yöntem ise yapıların açık planlı şekilde tasarlanmasıdır. Bu geniş açık alan tasarımları şekil 2.2.'de görüldüğü gibi engel bulunmaması sebebiyle hava akımının hızlıca ilerlemesine sebep olur. Havalandırma ve soğutma açısından fayda sağlayacak olan bu uygulama, yangın risklerini arttırmaktadır. Olası bir yangında hava yoğunluğunun fazla olması, yakıt kaynaklarına ulaşımın kolaylığı ve engel bulunmaması sebebiyle duman ve alevlerin kısa bir sürede tüm alana yayılmasına neden olacaktır. Ortak ve büyük bir alanda yoğun bulunan hava, ufak bir bölümde başlayan yangında kapılar açıldığı anda kompartıman etkisi oluşturarak, bölümlenmiş bir alana göre çok daha hızlı şekilde yangının yayılmasına sebep olur. Bu sebeple yapılarda açık planlı tasarımın ölçeği belirlenirken yangın riski göz önünde bulundurulmalıdır. Tehlikenin arttığı bu alanlarda yangın algılama ve söndürme sistemleri bulunmalı, acil durumlarda yatayda duman perdeleri kullanılarak yangın ilerlemesi geciktirilmeli, yangın zonlarında gerekli yerlerde mekanik havalandırma kullanılarak duman tahliyesi sağlanmalı, basınçlandırma sistemi kullanılarak acil durum tahliyeleri için güvenli kompartımanlar oluşturulmalıdır.

Güneş ışığından maksimum oranda fayda sağlamak amacıyla yapı kabukları ve iç ortamlarda saydam yüzeylerin arttırılması da sürdürülebilir uygulamalardan biridir. Sayam yüzeylerin sayısının artışı, ısıtma yüklerinin azaltılması ve aydınlatma da gün ışığından faydalanmayı sağlamaktadır. Yangın riskleri açısından bakıldığında yüzeylerin yüksek oranda saydamlığı, iç ortam ısısının artışına sebep olacaktır. İç ortam ısısının artışı, olası bir yangında içerideki malzemelerin kısa sürede tutuşma sıcaklığına ulaşarak yangının yayılmasında etkili olacaktır. Bu sebeple, saydam yüzeylerin fazla olduğu yapılarda yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılması gereklidir.

Sürdürülebilir yapılarda güneş ışığından faydalanmak amacıyla tasarımda uygulanan bir diğer özellik ise düzensiz cephelerdir. Düzensiz cephelerde de güneş ışığının belirli bölgelerde toplanarak sıcaklığı arttırması, olası bir yangının cephedeki hareketini olağandışı yönlendireceğinden yangının hızlanması ve müdahalenin gecikmesine sebep olabileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple düzensiz cephelerde gün ışığının toplanacağı bölgelerin yakınında yoğun kullanımı olmayan alanların bulunmasına özen gösterilmeli, cepheye yakın yağmurlama sistemlerine yer verilmelidir.

Yapılarda su kaynaklarının geri dönüşümlü kullanılması amacıyla tasarlanan, yağmur iniş borularında kullanılan malzemelerin yanıcı olmamasına dikkat edilmeli, mümkünse sifonik sistemler kullanılmalı, dış cephe de yağmur iniş boruları kullanılacaksa ve yanıcı özellikte olan malzemeler kullanılması halinde korunumlu halde uygulanması gerekmektedir.

Elektrik kabloları, birçok yangında çıkış noktası olarak tespit edilen yapı malzemelerindendir. Bu sebeple yüksek risk oluşturduğu bilinmektedir. Sürdürülebilir sistemlerde cephe üzerinde kullanılan ve enerji oluşturan sistemlerde elektrik kablolarının mutlaka korunumlu halde bulunması gereklidir. Bunun yanı sıra yapının genel elektrik kablolarının ve sürdürülebilir uygulamalara ait kabloların tümünde halojensiz kablo tercih edilmesi, korunumlu şaftlarda bulundurulması gereklidir.

Bu başlıkta verilen çeşitli uygulamalar sürdürülebilirlik açısından, ısıtma ve soğutma da daha az enerji harcanması, doğal ışıktan yararlanabilme, kullanıcılar için ferah ortamın oluşturulması, hava hareketinin daha geniş bir alanda sağlanması, doğal kaynaklardan enerji elde edilmesi gibi birçok olumlu özelliklere sahiptir. Ancak yangın güvenliği açısından bakıldığında risklerin arttığı görülmüştür. Hava akışının kontrol edilerek yangın güvenliği sağlamaya yönelik yukarıda bahsedilen ek önlemler alınmalıdır. Son olarak bu yapılarda yangın riskinin önlemler alınsa dahi diğerlerine göre fazla olacağı genel bir kanıdır.

2.3.2 Alan Seçimi ve Kullanımına İlişkin Yangın Riskleri

Bir yapının tasarlanacağı bölgenin iklimi, rüzgâr yönü, çevreye ait özellikler, arazi özellikleri alınan tasarım ve yerleşim kararları karakteristik özelliklerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yapıların sürdürülebilirliği kapsamında alan seçimi yapılırken ve alanda yapının yerleşimine ait çeşitli kararlar alınırken enerjinin verimli kullanılması ve doğal kaynaklardan yüksek oranda faydalanabilmek amacıyla belirli uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamaların bir kısmı olası bir yangında risklerin artmasına sebep olmaktadır. Bu konu da yangın riskini arttıran uygulamalar tez kapsamında 10 ayrı başlıkta incelenmiştir. Başlıklar ise aşağıdaki gibidir;

- İklim bölgesi
- Rüzgâr yönü
- Binanın yerleşimi
- Çevre yapılar ile yakınlık
- Bölgedeki yapı yoğunluğu
- Kot farkının kullanılması
- Zemin altı kotlar
- Gölgelendirme amaçlı peyzaj elemanı kullanılması
- Su kaynaklarının azaltılması

Yapı tasarım sürecinin ilk aşamasında arazi seçimi gelmektedir. Arazinin seçildiği bölgenin iklim verileri yangın riskleri üzerinde etkilidir. Sıcak iklimlerde tasarlanan yapılarda, iç ortam ısısının artışı yangın açısından bakıldığında alevlerin yayılma hızını arttıracaktır. Bu tür iklim bölgelerinde iç ortam ısısı artışının önüne geçilecek şekilde doluluk oranı fazla tasarımlar yapılması yangın risklerinin düşürülmesinde önemli rol oynar.

Sürdürülebilirlik kapsamında enerji ihtiyacının azaltılmasına yönelik, yapının arazi üzerinde konumlanışı belirlenirken hâkim rüzgâr yönüne göre tasarlandığı uygulamalar mevcuttur. Bu yapılarda soğutma yüklerinin azaltılması ve havalandırma için harcanan enerjinin azaltılması sağlanırken olası bir yangında yangının yayılma hızının artacağı bilinmelidir. Tasarımlarda bu özelliğin sağlandığı yapılarda artan yangın risklerine göre güvenlik önlemlerinin alınması gereklidir.

Binaya erişimde tasarlanan yollar ve yapının arazi içerisindeki yerleşimi müdahale ekiplerinin araziye ve yapıya direkt ulaşımı açısından büyük önem taşır. Ekolojik dengenin korunumuna yönelik, eko köyler ve kırsal yerleşimlerde doğaya zararın azaltılması amacıyla yalnızca yaya yürüyüş yolları tasarlanmaktadır. Bir yapının kentleşmeden uzak olması yapılı çevre ürünü olduğu gerçeğini değiştirmediği gibi, acil durumların ortaya çıkarabileceği tehlikeleri de azaltmamaktadır. Tasarlanan yapı ya da yapı gruplarının acil durumlarda müdahale ekiplerinin erişimi sağlanacak şekilde

tasarlanması her koşulda gerekmektedir. Bu tip yapılarda her hava koşulunda ulaşılabilir halde, itfaiye araçlarının ağırlığını kaldırabilecek sağlamlıkta ve genişlikte acil durum yolları oluşturulmalıdır. Yangın güvenliğinin sağlanabilmesi için, doğaya verilecek zararlar azaltılırken, güvenlikten ödün verilmemelidir.

Yine yapı yerleşimlerinde doğaya zararın azaltılması amacıyla arazi içerisinde mevcut ağaçlar ve çevre elemanlarının yok edilmemesine özen gösterilmektedir. Fakat bu uygulamalar yapılırken olası bir yangında itfaiye aracının yapıya dışarıdan müdahale sağlayabilecek şekilde konumlandırılması ve tasarlanması gereklidir. İtfaiyenin yapının bulunduğu araziye erişim sağlayamadığı ya da yapının kendisine erişimin mümkün olmadığı yapılarda görülen yangınların can ve mal kayıplarını arttırdığı, çevreye daha büyük zararlar verdiği bilinmektedir. Yapılar tasarlanırken, bu bilincin sürdürülebilir yapılarda da sağlanması gerekmektedir.

Yapının yerleşeceği arazide çevre yapılarla yakınlığı sürdürülebilirlik kapsamında incelendiğinde, az alanda daha çok kullanıcıya hitap ederek çevreye verilen zararın düşürülmesi amaçlanarak birbirine yakın konumda ya da bitişik nizamda yapılaşmalar görülmektedir. Bunun yanı sıra yapılar arası yakınlık çevre koşullarından (rüzgâr, güneş gibi) etkilenme oranını düşüreceğinden ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılmasında rol oynar. Bitişik nizam yapılarda bir ya da iki cephenin dış yüzeye kapalı olması ısı kayıplarını yüksek oranda önleneceğinden enerji korunumu sağlanır. Sürdürülebilirlik kapsamında yakın veya bitişik nizamda tasarlanan yapılar, olası bir yangında yangının çevre yapılara sirayet etmesi açısından yangın riskleri yüksektir. Aynı zamanda bitişik nizam yapılarda erişim bitişik cepheler sebebiyle kısıtlanacaktır. Bu tür yapılarda yangın risklerinin fazla olacağı düşünülerek, yangın güvenlik önlemlerinin arttırılması gerekmektedir. Bitişik nizam yapılarda yangın duvarı bulunmalı, bulunan yangın duvarı en az 90 dk. Yangına dayanıklılık sağlamak zorundadır.

Yoğun yerleşim bölgelerinde alanın etkin kullanımına yönelik büyük ölçekli yapılar tasarlandığı görülmektedir. Kullanıcı sayısının fazla, yapı ölçeğinin büyük olduğu yerlerde yangın risklerinin ve zararlarının da yüksek olduğu bilinmelidir. Bu doğrultuda çevrede tehlike sınıfı yüksek yanıcı/patlayıcı maddeler içeren ürünlerin bulunduğu

mekanların etrafında planlanmamalıdır. Bu tip yapılar imar planlarında yoğun yerleşim bölgelerinden uzakta bulunmalıdır. Yakınında bu tip yapılaşmaların bulunması halinde olası bir yangında can ve mal kayıplarının da yüksek olacağı unutulmamalıdır.

Topografya ve iklim verileri değerlendirilerek, ısı kaçışlarının önlenmesi, ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılması amacıyla kot farkının kullanıldığı bilinmektedir. Yapı tasarımlarında arazi eğimlerinin fazla olduğu sıcak iklimlerde enerji ihtiyacının azaltılması için yapının büyük bölümünün toprak altında olduğu tasarımlar görülmektedir. Bu yapıların büyük ölçekli ve çok amaçlı kullanımlara açık olması halinde (sinema salonu, konferans salonu, kulüp, disko, sergi alanı vb.) insan yoğunluğu da göz önünde bulundurularak en düşük kotun tabii zemin kotundan 3 mt.'den fazla derine indirilmemesi ve en az 3 kaçış yolu düzenlenmesi gerekmektedir. Yapı ölçeği küçük ve bireysel kullanımdaki bu tipte tasarlanan yapılarda itfaiye erişimi ve kaçış yollarının planlanması şarttır. (Demirarslan, t.y.)

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılaşma alanlarının verimli kullanılması amacıyla zemin altı kotların kullanımının giderek arttığı gözlenmektedir. Yoğun bölgelerde sıklıkla kullanılan zemin altı kotlar yangın açısından incelendiğinde risklerin fazla olduğu görülmektedir. Zemin altı kotlarda itfaiyenin dışarıdan müdahalesinin mümkün olmaması ve temiz havaya ulaşılamadığından duman tahliyesinin doğal yollarla yapılamaması yüksek risk oluşturmaktadır. Zemin altı kotlarda acil durum kaçışlarının sayılarının yeterli olması, alanın ölçeğinin büyümesi halinde mekanik havalandırma sistemlerinin kullanılarak duman tahliyesinin yapılması, negatif basınçlandırmanın kullanılarak acil çıkışların korunaklı hale getirilmesi, yangın algılama ve söndürme sistemlerinin sık aralıklarla kullanılması gerekmektedir. Kullanıcı sayısının fazla olduğu ve kullanıcıların tahliyesinin güç olduğu yerlerde (hastanelerin yoğun bakımları gibi) alt kotların mümkün olduğunca az kullanılan hacimlere verilmesi gerekmektedir.

Yapılarda pasif güneş tasarımı enerjinin verimli kullanılması açısından önem arz eder. Genel anlamda bulunduğu iklim bölgesi ve ısı-ışık ihtiyacına ve hâkim rüzgâr yönüne göre yapının arazi içerisinde konumlanışı belirlenir. (Enerji verimli bina tasarım stratejileri, 2016) Arazi konumlanışı yukarıdaki faktörlere göre yapılırken doğal veya

yapılı çevre elemanlarıyla mesafeye dikkat edilmesi gerekmektedir. Olası bir yangının yapılar arasında veya ağaç vb. çevre elemanlarına sirayet edebileceği ve yangının yayılma hızının artacağı bilinerek tasarlanmalıdır. Aynı zamanda gölgelendirme elemanlarının yapı yakınında konumlandırılması halinde itfaiye erişiminin de kısıtlanmaması gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik kapsamında kaynakların verimli kullanılmasına yönelik, şebeke suyunun kullanımının azaltılması olası bir yangının söndürülmesini güçleştireceğinden yangın su depolarının bulundurulması ve müdahale de kullanılacak suyun sağlanabilmesi önem arz etmektedir.

2.3.3 Taşıyıcı Sistem Kaynaklı Yangın Riskleri

Yapıların üretim süreçlerinin başında taşıyıcı sistemleri gelmektedir. Günümüzde farklı ölçek ve kullanım amacına hizmet eden yapılar tasarlanmaktadır. Yapı ve kullanıcı gereksinimlerinin farklılaşması yapılarda geleneksel sistemlerden uzaklaşılmasına sebep olmuştur. Yapı üretim sıklığı ve gelişmiş teknolojilerde sistemlerde yenilikler olmasının nedenleri arasındadır. İlk çağlarda kerpiç ve ahşap konstrüksiyon sıklıkla kullanıldığı yapıların yerini çimentonun kullanımı ile birlikte betonun, sanayi devrimi sonrasında daha geniş açıklık geçme arzusu ve yüksek yapı tasarım anlayışı ile çeliğin yapılarda kullanıldığı görülmektir. Teknolojinin gelişmesi ve yeni malzemelerin yapı sektöründe kullanılması ile birlikte geliştirilmekte olan taşıyıcı camlar, şişme (hava destekli) strüktürler, asma-germe membran sistemleri, nano teknolojik organik kabuk oluşumları vb. birçok sistem tasarımlar yer almaya başlamıştır. (Tuğrul ve Sev, 2015)

Sürdürülebilirlik birden çok değişkenin bir arada incelenerek değerlendirildiği kavramlar olması sebebiyle taşıyıcı sistemler yapının ihtiyacına yönelik olarak seçilmektedir. Her yapı ölçek, kat yüksekliği, kat sayısı, ihtiyaç duyulan açıklıklar, zeminin deprem dayanımı, arazi koşulları (eğim, rakım), kullanıcı sayısı, yoğunluk ve daha birçok unsur açısından farklılık gösterir. Taşıyıcı sistemlerde sürdürülebilirlik;

- Malzemelerin hafif olması,
- İşlenebilirlik,

- Taşıma ve uygulama aşamalarında harcanan enerjinin azaltılması,
- İnce kesitlerde yüksek taşıma kapasitesine sahip olması,
- Büyük oranda geri dönüştürülebilir olması
- Uygulamanın pratik oluşu ile sağlanabilmektedir.

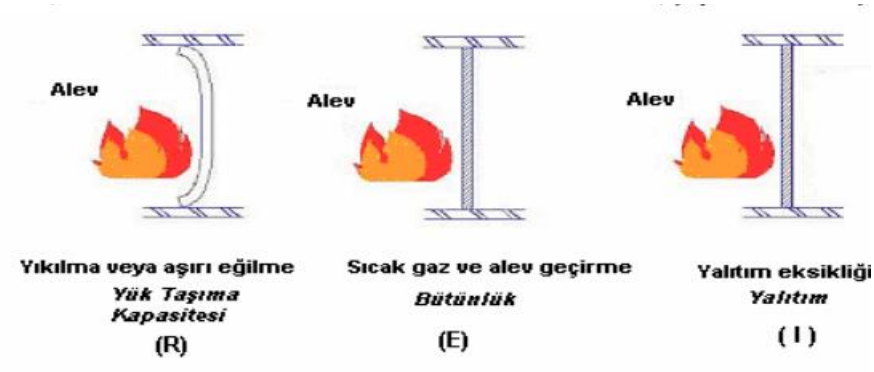
Bu kapsamda kullanılan taşıyıcı sistemlere bakıldığında, çelik elemanların, ahşap elemanların, yüksek performanslı betonun, prefabrike/prekast sistemlerin yapılarda kullanıldığı görülmektedir.

Çelik elemanların sürdürülebilirliği ve yangın riskleri:

Geniş açıklıkların geçilmesine imkân veren ve yüksek yapılarda yapım süresinin kısalmasını sağlayan, endüstriyel yapılarda sıklıkla kullanılan çelik sistemler hafifliği, yüksek dayanımı, üretim ve uygulama maliyetlerinin düşük oluşu sebebiyle literatürde sürdürülebilir sistemlerden biri olarak geçmektedir. Yangın dayanımı, bir yapı bileşeninin belirli bir yangın yükü altında işlevini devam ettirdiği süreçtir. Bu yapı bileşeninin işlevleri ise;

- Yük taşıma kapasitesi(R),
- Bütünlük (I)
- Yalıtım(E) 'tır.

Taşıyıcı elemanlar için yangın dayanımını bu değerler ile belirlenir; R süresi, RE süresi, REI süresi olarak belirlenir. Aslında burada bahsedilen süreler yangına dayanım süreleri olup, performans belirlenir. R süresi, yük taşıma kapasitesinin, RE süresi beraberinde bütünlük özelliklerinin de karşılandığı ve son olarak REI süresi yük taşıma, bütünlük ve yalıtım özelliklerinin tamamının karşılandığı minimum süredir. (Demirel ve Altındaş., 2005)



Şekil 2.3. Yapı elemanlarının yangına dayanım performansları (Demirel ve Altındaş,2005)

Taşıyıcı sistem elemanlarında, sehimlerin artma hızının belirli sınırları aşmaması beklenir. Çelik sistemlerde yangın etkisi yanıcılık özelliğinden çok ısı altında şekil değiştirmelerin meydana gelmesi düşünülür. Metal yapı malzemelerinde sıcaklık, mekanik özelliklerde büyük değişimlere yol açar. Çelik 400 C dereceye ulaştığında akma sınırı emniyet gerilmelerine düşer. Yüksek sıcaklıklarda çelik malzemenin elastisite modülü düşecektir, 20 C derecedeki özellikleri ile 600 C derecedeki elastisite kıyaslandığında %40 oranında azalma gözlenmiştir. (Kılıç, 2008) Neredeyse yarıya yakın oranda elastikliğini kaybeden çelik görevine devam edemez. Olası bir yangında bu sıcaklık değerlerinin görülmesi mümkündür. Bu sebeplerden çelik malzemenin kullanıldığı taşıyıcı sistemlerde mutlak surette çok iyi bir yangın yalıtımı yapılarak, çelik taşıyıcının yangınla temas etmemesi sağlanmalıdır. Özellikle hafif çelik sistemlerde ısının kütleye yayılımı yoğunluğun düşük olması sebebiyle daha hızlı olacak ve çelikte bahsedilen sıcaklıklara çok daha kısa sürelerde ulaşılarak yapısal bozulmalar başlayacaktır. Yangın yalıtımı yapılmadığı takdirde bahsedilen olayların gelişme hızı yangına müdahale edilmesine engel olabilmektedir. Bu yüzden Taşıyıcı kolonlarda en az 2 saat dayanıklı yalıtım, yüksek yapılarda ise 4 saate dayanıklı yangın yalıtımı yapılmalıdır. Döşemelerde de yüksek yapılarda 2 saat yangına dayanıklı olacak şekilde çelik kirişler kapatılmalıdır.

Ahşap elemanların sürdürülebilirliği ve yangın riskleri:

Geri dönüşümün ön planda olduğu, doğadan elde edilen, daha az hammadde kullanılarak üretimi yapılabilen, taşıma ve uygulama da harcanan enerjinin az, sağlıklı bir malzeme

olması, işlenebilirlik özelliği fazla ve hafif olan ahşap malzemelerin kullanıldığı taşıyıcı sistemlerde sürdürülebilir yapı sistemlerinden biridir.

Ahşap malzemeler, yapı teknolojinin gelişmediği dönemlerde ham halleriyle veya az işlenerek kullanılan, ilk yapım malzemelerinden biridir. Günümüzde gelişen teknolojiler ve ihtiyaçlar doğrultusunda endüstriyel ahşap denilen genellikle kereste, levha, lif, talaş gibi malzemelerin yapıştırılarak fabrikalarda homojen hale getirilmesiyle, atık ahşaplar istenilen boyut ve şekillerde üretilmekte, maliyetlerinin az işlenebilirlik ve kullanımının kolay oluşu sebebiyle tercih edilmektedir. (Tavşan ve ark., 2022)

Endüstriyel Ahşap Ürünlere bakıldığında;

- Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glulam),
- Çapraz Lamine Ahşap (CLT),
- Yapısal Kompozit Ahşap (SCL)
- Ahşap Beton Kompozit (TCC),
- Kavelalı Alamine Ahşap (DLT),
- Çivili Lamine Ahşap (NLT),
- Masif Kontraplak Panel (MPP) şeklinde sıralanabilir. (Yegüsey ve ark.,2014)

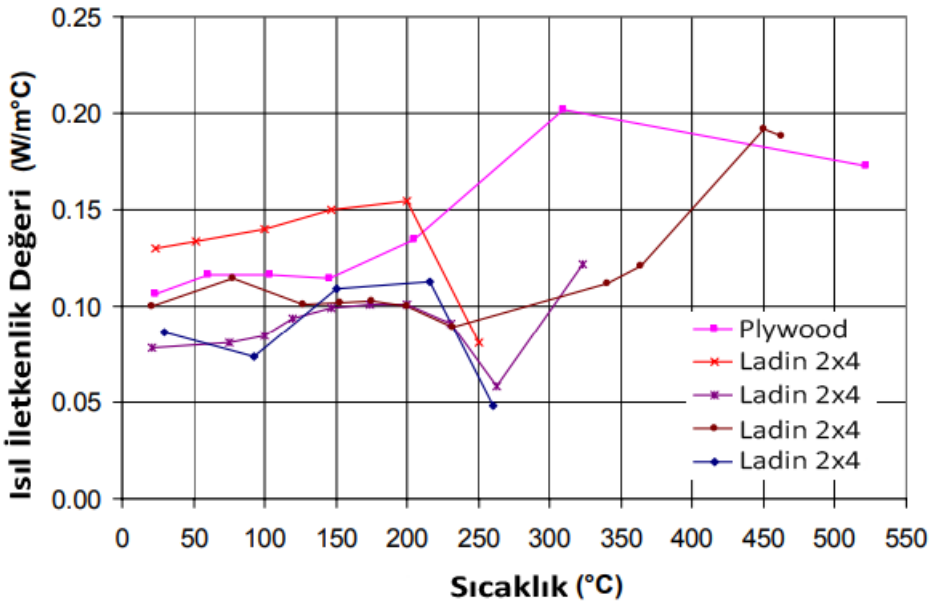
Özelliklerine göre yapı elemanı ya da taşıyıcı sistem elemanı olarak görev alan endüstriyel ahşaplar kompozit malzemeler olduğu için kendi içlerinde gruplara ayrılanları mevcuttur. Aynı zamanda fabrikasyon olması sebebiyle farklı mekanik özelliklere sahiptir.



Şekil 2.4. Endüstriyel ahşap türleri (Tavşan, 2018)

Bu olumlu özelliklere sahip hafif, endüstriyel ahşaplar yangın riski açısından incelendiğinde daha tehlikeli oldukları gözlenmektedir. Esasında yangın meselesi hafif çelik malzemedeki durumla aynıdır. Malzemeler verimlilik açısından hammaddeleri düşürülerek çeşitli formlara getirilmiştir. Fakat yangın yayılımı temelde maddelerin yoğunluklarına bağlıdır. Olası bir yangında hafif ahşaplarda yoğunluk az yüzey alanı fazla olduğundan doğadaki ham, işlem görmemiş bir ahşap aynı termal özelliklere sahip olsa bile ısının maddenin her bölümünde aynı sıcaklığa ulaşma süresi çok daha kısa olacaktır. Bu doğrultuda yangından etkilenen yüzey alanı olarak düşünüldüğünde hafif ahşaplarla tasarlanan taşıyıcı sistemlerin yanma süreleri kısa olacağı söylenebilir. Yangın yayılma hızının bu denli artacağı ahşap malzemelerde de yine, doğal ahşap malzemeye göre ekstra önlemler alınması gerekmektedir. Bu ancak olası bir yangının ahşap malzemeye temas etme süresi uzatılarak elde edilebilir. Yapılan bir araştırmadan alınan grafikte, ahşabın farklı özelliklerde ham hali ile plywood (kontrplak) olarak işlenmiş halinin sıcaklık – termal iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu grafikte de ham ahşabın dayanımının incelenen açıdan daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2. Ahşap türlerinin termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık karşısında değişim grafiği (Benichou, N. Sultan, Maccallum, M. A. ve C. Hum, J. K. 2001)



Yüksek dayanımlı betonların sürdürülebilirliği ve yangın riskleri:

Betonarme yapılar bilindiği üzere günümüzde sıklıkla kullanılan taşıyıcı sistemlerden biridir. Kullanım sıklığı sebebiyle malzemenin bileşenleri farklı oranlarda kullanılıp, çeşitli katkı maddeleriyle çevreye daha az zarar verebilecek hale getirilmeye çalışmaktadır. Bu çalışmalardan biri olan yüksek performanslı betonlarda, performans arttırılarak daha az miktarda beton ile aynı işlevlerin görülmesine çalışılmıştır. Bununla ilgili yapılan bir araştırmalarda yüksek dayanımlı betonlarda yangın riskinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu sebeplerden yüksek dayanımlı betonlar kullanılırken, normal betonun kullanıldığı betonarme yapılara göre dayanımının daha düşük olacağı bilinerek tasarımlarda yer verilmelidir.

Prefabrik/prekast sistemlerin sürdürülebilirliği ve yangın riskleri:

Prefabrik ve prekast sistemlerin imalatlarının yerinde uygulama sırasında yapılmaması, sistemlerin taşıma ve montajı sırasında ortaya çıkabilecek risklerin tam olarak bilinmemesi sebebiyle şantiye sürecinde olası bir yangında dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

2.3.4 Malzeme Seçimine İlişkin Yangın Riskleri

Gelişen teknoloji ve yapıdan beklenen performans özelliklerinin artması ile birlikte malzemenin özelliklerinde iyileştirmeler yapılmış özel durumlara uyarlanabilir nitelikte geliştirilmiştir. Bu özelliklerin başında yapının dolayısı ile yapı malzemelerinin sürdürülebilir olması gelmektedir. Günümüz yapılarında sürdürülebilirliğin değerlendirmesinde yapı malzemeleriyle ilgili temel istek ham maddenin ve enerjinin daha az kullanılmasıdır. Detaylı olarak bakıldığında ise;

- Malzemenin üretimi,
- İşlenebilirliği,
- Taşınması,
- Montajı,
- Zararlı gaz ve toksik madde salınımı yapmaması,
- Geri dönüştürülebilir olması,
- Yenilenebilirliği,

- Kolay erişilebilirliği
- Yerel kaynak kullanımı
- Malzemelerin verimli kullanılmasını belirleyen unsurlardır. (Boduroğlu ve ark., 2010). Bu unsurların hepsinin malzemeler genelinde değerlendirilip sonucunda bir malzemeye ulaşmak mümkün değildir. Her yapı bulunduğu bölgeye göre farklı yerel kaynaklara sahip olmakla birlikte iklim, yapının ölçeği, kullanım yoğunluğu, arazi özellikleri vb. birçok etkene bağlı olarak yapı malzemesi seçilmektedir.

Yapılarda sürdürülebilirlik ile kullanılmaya başlayan uygulamaların deneyimlenme sürelerinin kısa oluşu, yangın davranışının tam olarak bilinmemesi, genellikle standartlaşmaması ve bilinçsizlik nedeni ile yeterli yangın önlemlerinin alınmamaktadır. Malzeme seçimleri yapılırken;

- Malzemenin yanıcılık sınıfı,
- Yanınca çıkardığı duman yoğunluğu,
- Yanınca açığa çıkardığı dumanın zehirlilik yüzdesi,
- Alevleri iletme özelliği göz önünde bulundurularak önlemler alınmakta ve ulusal ve uluslararası standartlara göre malzemenin kullanım şekline ve yerine karar verilmelidir.

Amerika'da bir üniversite tarafından yapılan araştırmada sürdürülebilir yapılarda meydana gelen yangınlar incelendiğinde, belirli sürdürülebilir yapı malzeme ve sistemlerinin yangının büyümesine sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca yangın anında sistem elemanlarının çökmesi sebebiyle, kullanıcı yaralanmaları ve ölümler yaşandığı tespit edilmiştir. NFPA'in yangın analiz ve araştırma departmanında toplanan veriler arasından; büyük kayıpların, ölüm vakalarının tespit edildiği ve yangın söndürme sistemlerinin aktif olduğu konut yangınları seçilerek incelendiğinde, 2003-2013 yılları arasında görülen 411 yangının 15'inde yapı malzemesi olarak hafif ahşap malzemeler, yalıtımlı vinil kaplamalar, fiber takviyeli polimer (FRP) malzemelerinin kullanıldığı ve yangınlarda tavan, çatı ve zeminlerde kullanılan bu elemanların çökerek yaralanma ve ölümlere sebep olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda sürdürülebilirlik kapsamında kullanılan iç mekânı oluşturan yapı eleman ve malzemelerin geneli incelendiğinde yangın riskleri oluşturan malzemeler şu şekildedir;

- Fiber Takviyeli Polimer (FRP) elemanlar,
- İşlenmiş yapısal ahşap malzemeler,
- Plastik ahşap,
- Biyopolimer ahşap,
- Kompozit ahşap (CLT),
- Bambu,
- Cam (Meacham ve McNamee., 2020)

Fiber Takviyeli Polimer (FRP) elemanlar:

Fiberlerle güçlendirilmiş bir polimer ile üretilen kompozit bir malzemedir. Genellikle cam, karbon, aramid ve bazalt malzemelerinin lifleri kullanılarak taşıyıcı bir matriks reçinenin birleştirilmesiyle elde edilen bir kompozittir. (Hatipoğlu, 2011) Bu malzeme şeffaf, yarı şeffaf ve opak seçenekleri oluşturulabilen, birleşiminde kullanılan malzemelerin özelliklerine göre fiziksel özellikleri değişebilen, kolay taşınabilir, montajı yapılabilir, hafif ürünlerdir. Yapılarda ara bölme duvarlarının yerine kullanılabilir, dış cephelerde arasına yalıtım malzemesi eklenerek kullanılabilir. Kompozit bir malzeme olduğundan çeşitlendirilmesi mümkündür. Bölücü duvar, kaplama malzemesi ve zemin kaplama olarak kullanılması halinde yangın davranışına bakıldığında yangın yükü açısından yoğundur. Olası bir yangında tutuştuktan sonra ısı salınımı yüksek olacaktır. Bunun yanı sıra alev yayılımı ve duman açığa çıkarma oranı yüksek malzemelerdir. Bu yüzden yapılarda kullanılması halinde mutlak surette yangın yalıtımı yapılması gereken malzemelerdir. (Meacham ve McNamee., 2020)

Ahşap paneller:

Genel olarak uygun boyutlara getirilen odun yongalarının kurutularak, bağlayıcı ilave edilmesi, serme sıcak presleme aşamalarından geçen malzemelerdir. Bu maddelerde ağaç türü, yonga boyutları, diğer aşamaların şartları ve ilave katkılar ürünün özelliklerini doğrudan etkiler. (Özkaya ve ark., 2007) Bu malzemeler ahşap malzemenin daha kolay işlenmesi, estetik oluşu, ham ahşap malzemeye göre daha az ham madde tüketilmesi, bakım ve temizliğinin kolaylığı sebebiyle tercih edilmektedir. (Eroğlu ve Usta, 2000) Yapılarda bölücü duvar, dekoratif kaplama ve mobilya olarak kullanılabilmektedir.

Yangın yükü açısından yoğun ve ısı salınımı yüksektir. Alevleri yayma ve duman açığa çıkarma miktarı oldukça fazladır. Yapıda kullanılması halinde kesinlikle yangın yalıtımının yapılması gerekmektedir.

Biyopolimer ahşaplar:

Yapı sektöründe laminant malzeme, duvar kaplamaları ve yalıtım malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Malzemelerin çok çeşitli özelliklere sahip olması polimer esaslı olması sebebiyle kolay ulaşılabilir, yeşil polimerler olması sebebiyle ise doğadan elde edilmesi, kolay işlenmesi, hafif bir malzeme oluşu, düşük maliyeti gibi birçok olumlu özelliğe sahiptir. (Yoruç ve Uğraşkan, 2017) Yangın dayanımı olarak bakıldığında, alev yayılımı hızlı, yangın yükü fazla ve ısı salınımının da yüksek olması sebebiyle kesinlikle yangın yalıtımının yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği bilinmelidir.

Bambu:

İşlenme sürecinde daha az enerji harcanması ve kısa oluşu, geri dönüştürülebilmesi, doğaya zararlı etkilerinin bulunmaması, dayanıklı, düşük gömülü enerjiye sahip ve %100 doğal oluşu bambu malzemesinin yapılarda taşıyıcı, iç mekân ara bölmeleri, tavan ve cephe gibi farklı işlevlerde kullanılmaya başlanmıştır. Yaygın kullanımı olmasa da malzemenin yapılarda kullanımında yanıcılık özelliklerinin değerlendirilmesi ve önlemlerin alınması şarttır. Ham maddenin hızla yenilenebilir olması, yerel malzeme kullanılması, taşıyıcı sistemde kullanılabilecek kadar dayanıklı oluşu, yüksek çekme mukavemeti, çok az atık üretmesi sebepleriyle ekolojik bir malzemedir. (Aydın ve Bayraktar, 2022) Malzeme iç mekânda bölücü özellikte veya zeminde döşeme olarak kullanıldığındaki yangın davranışına bakılacak olursa, yangın yükü yoğun ve ısıl iletkenlik değeri yüksektir. Alev yayılımı da hızlı bir malzemedir. (Meacham ve McNamee., 2020)

Cam:

Ana maddesi silis olan inorganik esaslı bir malzemedir. Cam doğadan elde edilmesi sebebiyle tükenmesi mümkün değildir bu yüzden yerel bir malzeme olarak kabul edilir. Geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Geleneksel bir malzeme oluşu ve diğer özellikleri

sebebiyle sürdürülebilir yapı malzemeleri arasında gösterilebilirler. (Boduroğlu ve ark., 2010) Yapılarda cephe elemanı olmasının yanında iç mekân bölücü olarak kullanılmaktadır. Yanıcılık özelliklerine bakıldığında yangın yükünün fazla olduğu, ısı salınımının yüksek olacağı bilinmektedir. Alev yayılımı da yüksek olan malzeme kullanımında gerekli önlemler alınması gerekir.

Bunlara ek olarak Geri dönüştürülmüş malzemeler, Enerjinin korunması ve ham madde harcanmaması adına farklı yapı malzemelerinin geri dönüştürülerek tekrar kullanıldığı yapılar inşaa edilmektedir. Geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılan teknoloji ile birlikte günden güne geliştirildiği ve geri dönüşüm tekniklerinin farklılıkları sebebiyle tek bir malzemeden bahsedilmesi doğru olmayacaktır. Fakat geri dönüştürülmüş malzemelerin uygulamalarında malzemenin ilk haliyle aynı performans özellikleri taşıması beklenmemelidir ve yeni ürünün performans değerlerine göre gerekli yangın yalıtım önlemleri alınmalıdır. (Tidwell ve Murphy, 2010)

2.3.5. Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Yangın Riskleri

Yapı kabuğu, yapının çevre ile doğrudan etkileşim halinde olduğu kısımlardır. Güneş ve rüzgâr enerjilerinden maksimum oranda yararlanarak enerjinin korunumu ve verimliliğini sağlamak amacıyla yapı kabuğunda çeşitli malzeme ve sistemler kullanılmaktadır. Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda kullanılan bu malzeme ve sistemlerin enerjinin korunumu açısından önemi büyüktür. Yangın açısından bakıldığında ise yapı kabuğunu oluşturan cephe ve çatılar yangın açısından ciddi risklerin bulunduğu kısımlardır. Özellikle cephelerde meydana gelen olası bir yangında, yatayda ve düşeyde engel bulunmadığından açık havada duman ve alevlerin hızlı bir şekilde yayıldığı bilinmektedir. Bu sebeple yapılarda bir noktada başlayan yangın, cepheye ulaştıktan sonra diğer katlara ve çevre yapılara sirayet ederek müdahalesi güç hale gelmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik uygulamalarının kullanımında yangın risklerinin belirlenerek gerekli önlemlerin alınması, riski yüksek yapılarda belirli malzeme ve sistemlerin tercih edilmemesi gerekmektedir.

Bir üniversitenin araştırması kapsamında CTBUH adlı kentsel yaşam alanlarındaki yüksek yapılar konseyinin yangın verileri kullanılarak bina cephelerinde meydana gelen yangınların incelendiği bir araştırma da 21 farklı ülkede 59 yangın incelenmiştir. Bu

yangın verilerinde yangının başlama ve ilerleme yerleri, yangın söndürme sistemlerinin çalışıp çalışmadığı gibi özellikler dikkate alınmıştır. Bu cephe yangınlarında sebep olarak, en yüksek paydalarda %24'ünün metal kompozit malzemelerden (eloksallı alüminyum ve polietilen köpük), %14'ünün EPS/XPS yalıtım köpüklerinden, %5'inin diğer dış cephe yalıtım ve bitiş elemanlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. (Meacham ve McNamee., 2020) Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında yalıtım malzemelerinin kullanılması ve metal kompozit malzemelerin kullanımının cephe yangınlarında yüksek yangın riski oluşturduğu bu yüzdelerden de görülmektedir.

Dünyada son 20 yılda yüksek yapılarda gerçekleşen büyük ölçekli 20 yangının incelendiği bir çalışma 'da yapıların %70'inde alüminyum kompozit panel (plastik yalıtım malzemesi içeren), %5'inde poliüretan yalıtım, %5'inde poliüretan kaplama malzemesi kullanıldığı görülmüştür. (Oruç ve Şimşek,2019)

Bu bilgiler doğrultusunda sürdürülebilir yapılarda cephe ve çatı sistemlerinde kullanılan malzemeler incelendiğinde yangın riski oluşturan malzeme ve sistemler aşağıdaki gibidir;

- Alüminyum kompozit kaplamalar
- Yalıtım malzemeleri
- Yüksek performans camları
- Işık geçirgen çatı sistemleri(skylight)
- Yeşil çatı ve yeşil cepheler
- Çift kabuk cephe sistemleri
- Güneş kırıcılar
- Güneş tüpleri
- Tenteler
- Uyarlanabilir Cephe Sistemleri

Alüminyum Kompozit Kaplamalar:

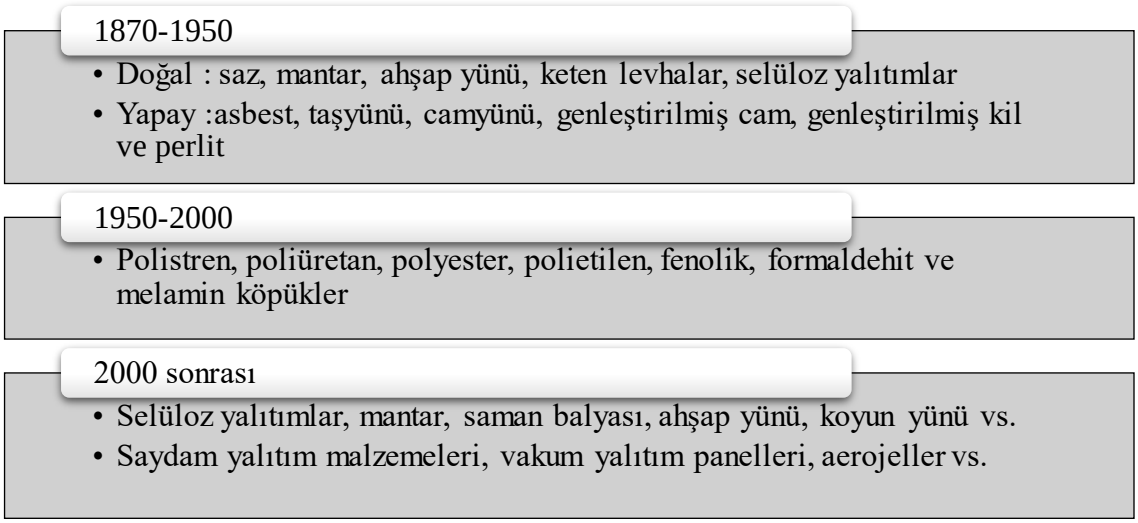
Cephelerde kullanılan sistemlerin değişmesi ve teknolojilerin ilerlemesiyle cephe kaplamalarında alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Bununla birlikte sistemin ısı kaçışlarının engellenmesi amacıyla plastik çekirdekli alüminyumlar tercih edilmeye başlanmıştır. Bu kompozit malzemelerin çekirdek kısmında 3-4 mm'lik polietilen ve iki tarafında 0.5 mm'lik alüminyum kaplamalar bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik

kapsamında, hafif oluşu, inceliği, ısı yalıtım özelliği, kolay işlenebilir olması gibi sebeplerle kullanımı yaygınlaşmıştır. Yanıcılık sınıfı B1 zor alevlenen grupta bulunmaktadır. Yüksek yapılarda kullanımı yasak ancak az katlı yapılarda kullanımı serbest olan bu malzemenin cephelerde yangın riskleri oluşturduğu unutulmamalıdır.

Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi:

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda enerjinin korunumu amacıyla yaygın kullanıma sahip uygulamalardan biri yalıtım malzemeleridir. 19.yüzyıl sonlarına doğru sanayi devriminin etkisi ile meydana gelen enerji krizi ve gelişen yapı ihtiyaçları ısı yalıtım malzemelerinin endüstriyel üretimi ve kullanımına neden olmuştur. Tarihsel süreçte tercih edilen malzemelerde gelişen teknolojilerle birlikte değişiklik göstermektedir. Isı yalıtım malzemelerinin ilk yıllarında daha doğal ürünler kullanılırken, 1950'li yıllarda plastik kullanımı yaygınlaşmıştır. 2000 yılı sonrası plastiklerin köpük malzemelerin üretiminde açığa çıkardığı zararlı gazlar sebebiyle doğal malzemelere dönüş başlamıştır. Aerojeller ve vakumlu yalıtım panelleri gibi teknolojik ürünlerin ise araştırma geliştirme çalışmaları sürmektedir. (Bozasky, 2010) Fakat halen polimer esaslı köpükler, lifli ve sürme esaslı malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. (Türkiye'de yalıtımın temelleri …, 2015) Dönemlerine göre geliştirilen ısı yalıtım malzemeleri de tablodaki gibidir.

Çizelge 2.3. Dönemlere göre kullanılan ısı yalıtım malzemeleri (Bozasky, 2010 düzenlenmiştir)



Farklı sıcaklıktaki iki ortam arası ısı geçişini kontrol etme amacıyla kullanılan ısı iletkenlik katsayısı 0.1 W/m°C'den düşük malzemelere ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir. (Akıncı, 2007) (Toydemir ve ark., 2000). Termik özelliklerde; yangın dayanımı ve düşük ısı iletkenliği, fiziksel özelliklerde; düşük birim hacim kütle, su emme, buhar difüzyon direnci, mekanik özelliklerde; basınç dayanımına dikkat edilir. (Özer ve Özgünler, 2019)

Günümüzde hafif olması, endüstriyel ürün olması, işlenebilirliği, montajının kolay olması ve düşük maliyetleri sebebiyle XPS (ekstrüde polistren), EPS (genleştirilmiş polistren), polietilen gibi malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu malzemelerin üçü de plastik türevi malzemeler olup B sını zor alevlenen yanıcılık sınıfına sahiptir. Olası bir yangında zehirli gaz ve duman açığa çıkarması, yalıtım malzemesine ulaşan yangının hızlı bir şekilde cephe de ilerlemesine sebep olmaktadırlar. Yapılarda uygulaması sırasında sıva harcı ile yangına karşı yalıtım sağlanmaktadır. Fakat alevlerin ulaşması halinde yanıcılığa engel değildir. Bu malzemeler yerine yapılarda a1 sınıfı yanmaz taşyünü, camyünü gibi malzemeler tercih edilmelidir.

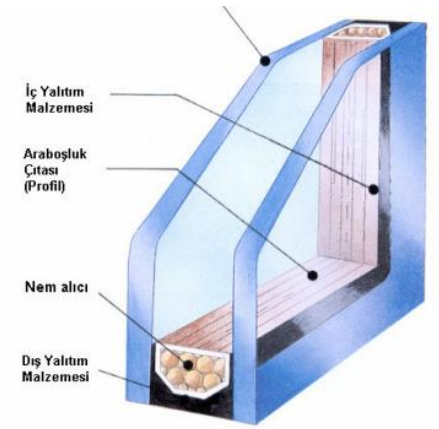
Yüksek Performans Camları:

Cam, saydam ya da yarı saydam olabilen sert yapıda inorganik amorf yapıda katı bir malzemedir. (Cam t.y. vikipedi içinde) İçeriğinde %72 oranında silisyum, %13 oranında kireç, % 17 soda bulunmaktadır. İçeriğindeki kireç dayanımı arttırırken, soda silis 'in erimesini sağlar. Basınç ve ısı dayanımı arttırılmak istendiğinde kireç yerine alüminyum oksit kullanılır. Gelişen yapı teknolojileri malzemelerinde işlenebilirliği ve geliştirilebilirliğini arttırmaktadır. Günümüzde cam malzeme ile yapılan pencere ve üst örtülerde camın kullanım şekline göre çeşitli özellikler kazandırılmaktadır. Camlar yapı kabuğunda kullanılırken; dış çevre ile görsel bağlantı, doğal aydınlatma, dış etkilerden korunma özelliklerine sahiptir. Gelişen sistemler güneş denetimi, ısı ve ses yalıtımı, yangına dayanım, darbeye dayanım gibi farklı özellikler getirmektedir. (Gedik, 2017) Yapılarda enerji etkinliği, enerjinin korunması ve doğru yönetilmesinde rol oynayan etmenlerin en önemlilerinden biri cephelerdir. İç ve dış ortam arasında hava, ısı, ışık, ses vb. etmenlerin geçişi cephe ve çatılardan sağlanmaktadır. Doğal kaynaklardan maksimum faydalanma amacıyla cephe camlarında yapının bulunduğu iklim, yapı ölçeği, kullanım tipi ve ihtiyacına yönelik camlar çeşitlenmektedir. Bu özelliklerine göre yapılarda güneş

denetimli cam sistemleri, ısı korunumlu cam sistemleri sağlayan ve her iki özelliği de taşıyan bütünleşik cam sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde gün ışığı geçirgenliği, gün ışığı yansıtması, güneş enerjisi toplam geçirgenliği ve gölgeme katsayısı kavramları kullanılarak uygulamaların sayısal değerlendirilmeleri, kazanç ve kayıplar belirlenip yapıya uygun olan sistemler seçilebilmektedir. (Şenkal, 2002)

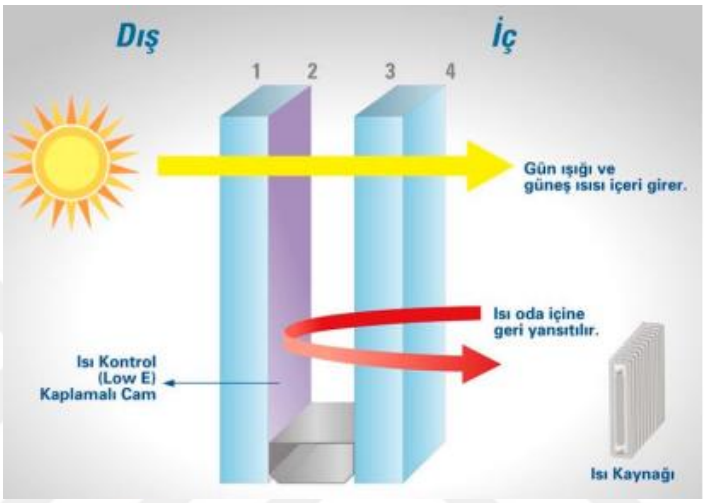
Güneş denetimli camlarda amaç, güneşin iç ortama girişini engelleyerek aşırı ısı birikimini ve güneş ışınlarının görsel konforu bozmasını engellemektir. Bu tip sistemler için camlarda renklendirme işlemi ve film kaplamalar kullanılmaktadır. Renklendirilmiş camlar kendi içerisinde; yüzeyinden renklendirilmiş camlar, hamurundan renklendirilmiş camlar ve yüzeyi metal tabaka kaplı camlar olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Renklerine göre ışık geçirim oranları farklı olmakla birlikte yüzeyleri metal tabaka ile kaplı camların yansıtma özelliği daha fazladır. Film kaplamalı camlar ise kendi arasına; inoks kaplamalı camlar ve imf kaplamalı camlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bunlarda güneş ışınlarını özel bir filtreden geçirerek ısı ışınımlarının belirli dalga boylarında geçirmezler. Filtre cinsine göre bu oranlar değişmektedir. (Gedik, 2017)

Isı korunumlu cam sistemleri, iç ortamda ısıtılan havanın dışarı çıkışı azaltılarak gereksiz ısı kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bunlarda kendi içerisinde ara boşluklu camlar ve film kaplamaları camlar ve ikisinin bir arada kullanıldığı cam sistemlerinden meydana gelmektedir.



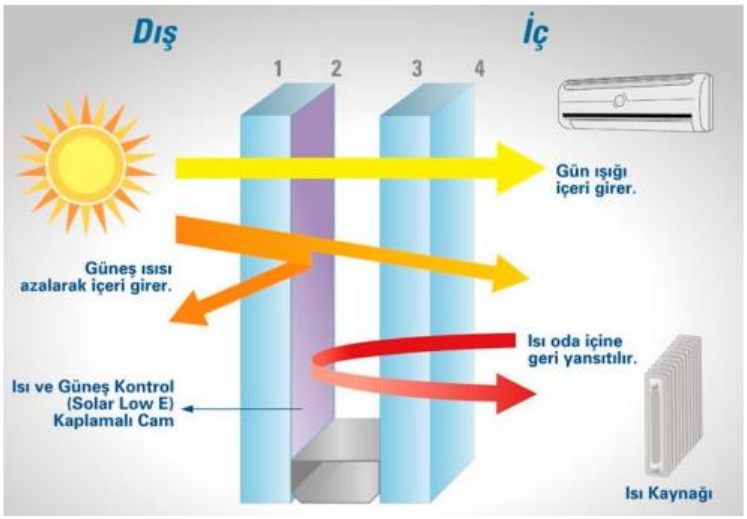
Şekil 2.5. Yalıtım camı birimi kesiti (İzoder, t.y.)

Ara Boşluklu Cam Üniteleri; İki ya da daha fazla sayıdaki camın bir arada kullanılmasıyla elde edilir. Bu cam sistemlerinin ısıl özellikleri, katmanlar arası hava boşluğu ya da asal gazların miktarı ve özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kullanılan çerçevelerde etkilidir. Çift camlarda katmanlar arası mesafe arttıkça yalıtım artmaktadır. (Wilson ve Brown, 1988) Hava boşluğu yerine argon gazı doldurulması ve hem argon gazı doldurulup hem de katmanlar arası mesafenin arttırılması ısı yalıtımını olumlu etkiler.



Şekil 2.6. Isı kontrol (Low-E) kaplamalı yalıtım camı (Zorer Gedik, 2017)

Film Kaplamalı Cam Üniteleri: Pencerelerde ısı kayıplarının büyük bir kısmı elektromanyetik ışınım ile gerçekleştiğinden dışarı doğru yönlenen havanın içeri yansıtılmasıyla ısı kayıpları önleme prensibinde çalışmaktadır. Low-e kaplamalı camlar bu grupta incelenir. Bunlar, güneşin görünür ve görünmez dalga boylarındaki ışınımları büyük oranda geçirmesine rağmen ışınım yoluyla mekandaki maddelerden çıkan uzun dalga boylu kızılaltı ışınımları yansıtarak içerde tutulmasını sağlar. Işınım yoluyla ısı kaybının %70 oranında kaçışını engeller. Çift cam olarak kullanılması halinde yalıtım değeri yükselir. Imf kaplamalı camlar ise günışığı geçirgenliği yüksek olması istendiğinde kullanılmaktadır. (Gedik, 2017)

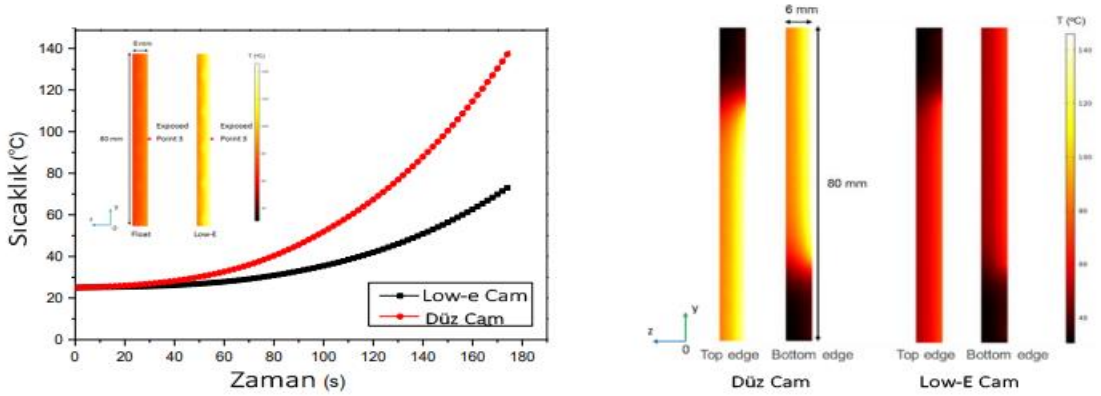


Şekil 2.7. Isı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı yalıtım camı (İzoder, t.y.)

Bütünleşik Cam Sistemleri: Ara boşluklu çift cam ünitelerinin low-e,inox ve imf kaplamalarla birlikte kullanıldığı sistemlerdir. İklim kontrol camları olarakta adlandırılan bu sistemlerde, camların optik özellikleri fazla değişmezken, dışarıdan gelen gün ışığının dengeli bir şekilde içeri alınması, içerideki ısının dışarı çıkışının yansıma ile önlenmesi ve katmanlar arasındaki gazların dış ortama ısı kayıplarını azaltması bir arada kullanıldığından daha iyi performans gösteren sistemlerdir.

Sürdürülebilirlik açısından geliştirilen ve çeşitlendirilen bu sistemler genellikle büyük ölçekli yapılarda veya yüksek yapılarda kullanılmaktadır. Bu tip yapılar yangın yüklerinin fazla, yangın risklerinin yüksek ve yangın olayı meydana geldikten sonra müdahalesi zor yapılardır. Bu sebeplerden kullanılacak her malzeme ve sistemin yangın açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Low-e camlar, enerjinin korunumu açısından oldukça olumlu özelliklere sahiptir. Bu cam sistemlerinin yangın dayanımı açısından normal cam ile kıyaslandığı bir deney çalışmasında yanma sıcaklıkları gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.4. Low-e Cam ve Düz Cam tiplerinin sıcaklık karşılaştırılması (Lu ve Sun, 2021)



Yukarıdaki şekilde iki camın aynı koşullarda yanma sıcaklıkları verilmektedir. Low-e camların yangına daha dayanıklı olduğu gözlenmektedir. (Lu ve Sun, 2021) Malzemenin tek başına yangın dayanımı normal bir cama göre daha iyi olsa dahi tasarlandığı yapı düzeyinde bütüncül olarak yangın risklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Sistemeler değerlendirildiğinde; Güneş korunumlu cam sistemlerinde, camların yansıtıcılık özelliğinin fazla oluşu bu yansımaların dış ortamda, yapının çevresinde ani tutuşmalara sebep olabileceği düşünülmelidir. Konutlarda low-e camlarının kullanıldığı bazı yapılarda bu etkiden ötürü çıkan yangınlara ait raporlar bulunmaktadır. Yansıtıcılık özelliğinin daha riskli olduğu haller ise, kullanıldığı yapının lineer olmayan bir yapısı bulunması halinde, dışarı yansıtılan güneş ışınlarının yapı geometrisi sebebiyle yapıya ait belli başlı noktalarda toplanarak yangın olasılığını arttırabilir.

Isı korunumlu cam sistemlerinde ise, yapının formu, ölçeği, tasarımı vb. karakteristik özellikleri düşünülmeden kullanıldığı hallerde içeride oluşan ısı birikerek olası bir yangında ortamda gerekli ısının kolayca sağlanıp yangının hızlı yayılmasına sebep olmaktadır. (Meacham ve McNamee, 2020) Bunun haricinde hava tabakalı bu camlarda katman sayısının birden fazla olması sebebiyle müdahalelerin zorlaşmasına sebep olmaktadır. Güvenlik endişesinin ve patlama riskinin yüksek olduğu yerlerde yapılan camlar delici, kesici malzemelerle kırılamamaktadır. Bu gibi camların uygulanırken acil durumlarında düşünülmesi ve gerekli olanlara ara paneller yapılarak erişime uygun hale getirilmelidir. Aynı zamanda bu panellerin yerleri, ulaşılabilir ve net bir şekilde gösterilir halde olmalıdır.

Temperlenmiş camlarda da yapılan deneyler sonucu normal camlara göre yangın dayanımının fazla olduğu saptanmıştır. (Yu Wang, 2019) Fakat bu camlarda yangın anında müdahale güçlüğü taşımaktadır. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Işık geçirgen çatı sistemleri(skylight):

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında gün ışığından yararlanma oranını arttırmak, ısıtma ve aydınlatma yüklerinin azaltılması amacıyla çatılarda ışık geçirgen sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde şeffaf malzeme olarak, cam yerine daha hafif ve kolay işlenebilirlik sebebiyle polikarbon ve ETFE malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. ETFE membranlarda polikarbonlarda B1 sınıfı yanıcılığa sahiptir. Bundan dolayı olası bir yangında risk oluşturduğu bilinmelidir. Mümkünse bu malzemeler yerine cam kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra geniş açıklıklı ışık geçirgen çatı sistemlerinde çelik ve alüminyum gibi taşıyıcılar üzerinde şeffaf malzemeler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde de çelik kullanılması halinde mutlaka yangın yalıtımının yapılarak yangın dayanımının arttırılması gerekmektedir.

Yeşil Çatı ve Cephe Sistemleri:

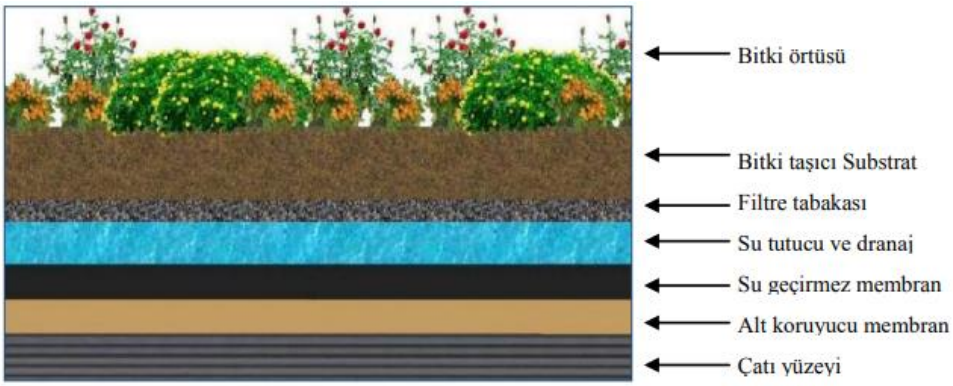
Yoğun yapılaşmanın bulunduğu bölgelerde artan yeşil alan ihtiyacının karşılanamaması çeşitli sorunların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu doğrultuda yapı kabuklarında yeşil alanlar oluşturularak ekosistem dengesine katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapılarda; yeşil çatı ve yeşil cephe uygulamaları yapılmaya başlanmıştır.

Yeşil Çatı Sistemleri, en basit açıklama ile binanın üzerinde bitki yetiştirilmesi olarak tanımlanabilir. (Tidwell ve Murphy, 2010) Yeşil çatılar, normalin altındaki ağırlıktaki çevrede yetişen mikroorganizma ve bitkilerin bulunduğu biyolojik topluluklardır. (Kabuloğlu, 2006) Yapıların görsel performansını arttırma adına tercih edilen yeşil çatıların yapı ve çevresine katkıları incelendiğinde faydaları şu şekilde sıralanmaktadır;

- Yeşil çatılar, canlılar için yeni bir yaşam alanı oluşturarak biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamaktadır. (Dinsdale ve ark., 2006)
- Bitkiler, yağmur suyu ve kaynak sularını bünyesinde barındırıp sıcak havalarda terleme ve buharlaşma yoluyla suyu tekrar havaya aktarmakta, bu şekilde ekolojik

döngünün dengesini sağlamakta büyük bir rol oynamaktadır. Gölgeleme ve ısı depolama özellikleriyle de hava sıcaklıklarında denge sağlanmasında etkilidirler. Yeşil çatılar, ekosistem dengesinin korunmasında görev alarak sıcaklık artışlarının önüne geçilmesinde etkilidir. (Yüksel, 2005)

- Yeşil çatı sistemleri, kullanıldığı yapıda bitkilerin ısı depolama özelliği sebebiyle ısı geçişlerinin dengelenmesini sağlar. Yazın iç ortama ısıl yükü daha az geçirirken kış aylarında iç ortamdan ısı kayıplarını azaltmaktadır. Bu doğrultuda yapıların soğutma ve ısıtma yükünü azaltarak enerjinin korunumunu sağlamaktadır. (Ayçam ve Kınalı, 2013) Yapılan bir araştırma da geleneksel çatı ile iklimlendirmeye göre %75 oranında enerji tasarrufu gözlenmiştir. (Liu, 2004)
- Yeşil çatı sistemlerinde bitkilerin ısıyı soğurarak az bir kısmını yansıtması yüzey sıcaklıklarını azaltmasına bu doğrultuda hava sıcaklıklarının dengelenmesine katkı sağlar. Aynı şekilde hava kirliliğine yol açabilen çeşitli maddelerde bitkiler tarafından tutularak havanın filtrelenmesi ve kalitesinin artışına katkıda bulunurlar. (Ngan, 2004) Yeşil çatılar, bitkiler sayesinde ortamın oksijen miktarını arttırıp, CO2 oranını düşürür.
- Çevredeki seslerin emilmesini sağlayarak gürültüyü azaltır.
- Yeşil çatılar, yağmur suyunun tutulmasını sağladığından altyapı sistemlerine aktarımı gecikir. Normal çatılarda doğrudan kanalizasyon ve tahliye sistemlerine aktarılan su sisteme ciddi oranda yük getirmektedir. Atık su şebeke yükünü hafifletmesi sebebiyle faydalıdır. (Kabuloğlu, 2006)
- Yağmur suyuna havadan karışan ağır metaller ve tuzlarında toprak tarafından tutulmasıyla sera gazlarının yok olmasında yardımcı olurlar. (Ngan, 2004)



Şekil 2.8. Yeşil çatı katmanları (Shishegar, 2013)

Yukarıda faydaları belirtilen yeşil çatı sistemleri birden çok katmandan oluşmaktadır. Literatürde bu katmanlar; Bitki, bitki taşıyıcı tabaka, filtre ve drenaj tabakası, mekanik etkilerden koruyucu tabaka, kök tutucu tabaka, su yalıtımı, çatı konstrüksiyonu olarak verilmektedir. (Ekşi, 2006) Yeşil çatılar kendi içerisine bitkilendirme biçimine göre iki ana türde incelenmektedir. Bunlar;

- Ekstensif (seyrek) bitkilendirme
- İntensif (yoğun) bitkilendirme
- Semi-intensive (karma) bitkilendirme de yapılmaktadır.

Ekstensif (seyrek) bitkilendirme sisteminde, genellikle az su isteyen, sürekli bakım gerektirmeyen bitkiler kullanılabilir. İntensif (yoğun) bitkilendirme de ise, bolca toprak ihtiyacı bulunur. Devamlı bakım gerektirir, malzeme seçiminin mekanik etkiler ve sulamaya göre daha özenli yapılması gerekmektedir. Sistem ağaç yetiştirilmesine dahi imkân tanır. En büyük farklarından biri ise; seyrek bitkilendirme de çatıya verilen yük 100 kg/m² civarında iken, yoğun bitkilendirme de bu yük 300-400 kg/m2 civarında olmaktadır.

Yeşil çatılarda yangın riskleri: Yapı statiğinde oluşacak yüklerin dikkate alınması gerekir. (Hui, 2009) Sistem eğer gezilebilir çatı şeklinde tasarlandıysa yalnızca sistem elemanları değil üzerinde yapılabilecek yürüyüş yolu, taşlar vb. elemanlarında yükleri hesaplanmalıdır. Yine çatıdaki yükler hesaplanırken rüzgâr yükleri ve rüzgârın kaldırma kuvvetlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Geleneksel çatılarda karşılaşılmayan diğer bir yük ise bitkilerin canlılığını sağlayacak olan sudur. Normal şartlarda drenaj çatılarda oluşan tüm suyu dışarı taşırken bu sistemlerde bir kısmı tutulacağından birincil ve ikincil drenaj sistemleri kullanılmaktadır. Bu şekilde doğacak yüklerinde hesaba katılması gereklidir. Yüzeyde suyun göllenme etkisine karşın minimum %2-%3 oranında eğim bulunacak şekilde tasarlanan bu sistemler fazla eğimde daha fazla çalışma gerektirdiğinden geleneksel çatılardan ayrışmaktadır. (Tidwell ve Murphy, 2010) Olası bir yangında hesaplanmayan yükler, taşıyıcı sistemin dayanımını kaybetmeye başlamasıyla çökerek yaralanma ve can kayıplarına sebep olabilir. Yeşil çatı sistemleri yangın açısından, bitkilerin kuruması halinde yangın yükü oluşturması,

yanarken çevreye zehirli duman ve parçacık yayılması, itfaiye erişimini zorlaştırması gibi riskler oluşturmaktadır. Bu risklerin ortadan kaldırılması için;

- Sistem bitkilerinin seçimi sırasında öncelikle orman yangınlarının sıklıkla görüldüğü alanlarda bulunan bitki tipleri, yüksek düzeyde uçucu yağ ve reçine içeren bitkiler seçilmemelidir.
- Yüksek neme sahip, az büyüyen bitkilerinde yangını kuvvetlendirebileceği düşünülmektedir.
- Sistemin kullanılacağı alan ile yapı arasında yangın duvarı ya da bölmeler kullanılmalı ve geniş aralıklar bırakılarak yangının bir bölümden diğerine geçişi önlenmelidir.
- Sistemler tasarlanırken olası bir yangın anında müdahale ekiplerinin rahatça ulaşım sağlayabileceği yollar bırakılmalıdır. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Yeşil Cepheler, Diğer bir adıyla dikey bahçeler yeşil çatı sistemleriyle aynı amaçlar doğrultusunda kullanılan sistemlerdir. Yeşil çatılarda belirtilen olumlu çevre etkilerini taşımaktadır. Ayrıca elektromanyetik radyasyonu da büyük ölçüde azaltırlar. Metal çit sistem, modüler sistem, panel sistem, keçe kullanılan sistem, asma sistem, hava dolaşımlı yeşil duvar sistemi olarak çeşitlenmektedir. (Çelik ve ark., 2015) Yeşil cephe sistemlerinin yangın risklerine bakıldığından, sistemlerin cephe de büyük ölçekli şekilde tasarlanması, bitkilerin kuru olması halinde yangın yükünü arttırmaktadır ve bu şekilde cephe de yangının ilerlemesine sebep olabilir. Bitkilerden zehirli gaz ve parçacık açığa çıkabilir. Bu sistemlerin kurulu olduğu taşıyıcı altlık sisteminin de yangın açısından dayanımına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca doğru kurgulanmayan yeşil cephe sistemleri acil durum itfaiye müdahalelerine engel teşkil edebilir. Yeşil cephelerin tasarımı sırasında bahsedilen riskler oluşmaması için,

- Bitkilerin düzenli aralıklarla bakımlarının yapılası,
- Bitki tercihinde yüksek düzeyde uçucu yağ ve reçine içeren bitkiler seçilmemeli,
- Taşıyıcı altlık sisteminin yanıcı özellikte olmaması
- Acil durum müdahalelerinin düşünülerek tasarlanması gerekmektedir.

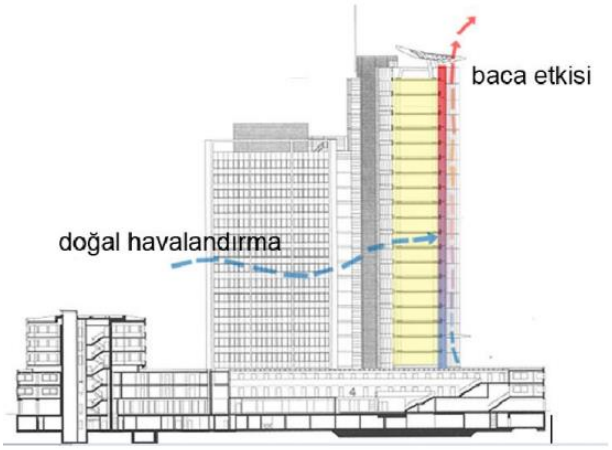
Çift Kabuk Cephe Sistemleri:

Yapı teknolojilerinin gelişmesi ve değişmesi beraberinde farklı sistemlerin yapılarda kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Geleneksel yapılarda dolu-boş dengesi pencere açıklıklarıyla sağlanmaktaydı. Büyük ölçekli ve genellikle ticari kullanıma yönelik yapılarda, gün ışığından daha çok yararlanma amacıyla tamamı cam yapı kabukları, giydirme cepheler vb. sistemler uygulanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte artan saydam/yarı saydam yüzey alanının artışı, termal konfor ve iç hava kalitesinin sağlanması amacıyla yapılarda harcanan enerji miktarını bir hayli arttırmıştır.

Enerjinin kaynaklarının hızla tükenmekte olduğu bu yüzyılda, yapı da kullanılan bu sistemlerden doğan enerji kaybını önlemek adına çeşitli tasarım uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri olan çift kabuk cephe sistemleri, iç ve dış ortam arasındaki ısı, ışık ve hava geçişlerinin kontrollü bir şekilde yapılması amacıyla yapılarda kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle ılıman iklimlerde, cephe alanının büyük ve iç termal yüklerin yoğun olduğu yapılarda kullanılmaya uygundur. Bu cephe sistemleri, temelinde yapı kabuğunu oluşturan cepheyle hava akımı sağlayacak bir boşluk bırakılarak ikinci bir kabuğun kullanıldığı sistemlerdir. Cam cidarlar arasındaki hava, aşırı ısınmayı, rüzgârın istenmeyen etkilerini, gürültü ve ışığın kontrolünü sağlamakta etkilidir. (Poirazis, 2004)

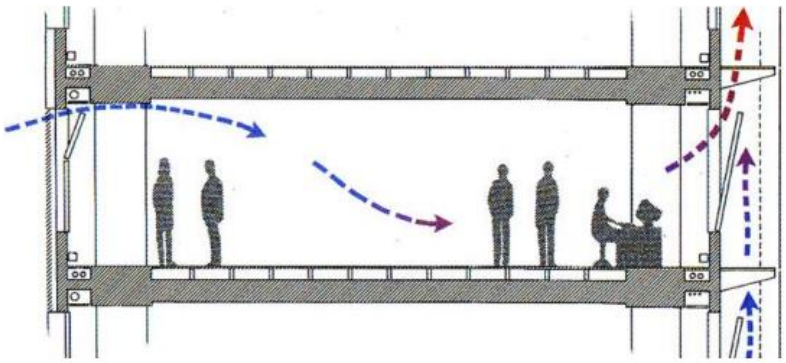
Çift kabuk cephe sistemlerinde katmanlar arası hava boşluğu 20 cm ile 2m aralığında değişkenlik gösterir. Katmanlar arası hava boşluğunun havalandırılma şekline göre üç ayrı grupta incelenmektedir.

- Doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri,
- Mekanik havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri,
- Bütünleşik(hibrid) havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri



Şekil 2.9. GSW binası doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemi örneği (Örkmez, 2012)

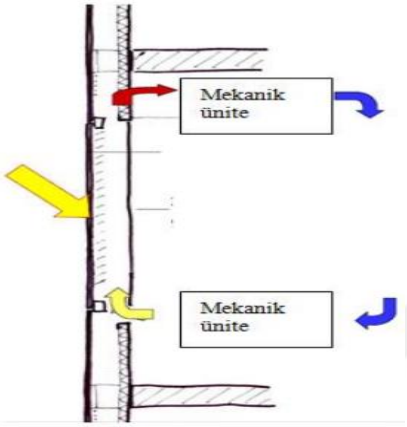
Doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri; Bu sistemlerde dış ortam ile iç ortam yoğunluk farkı ile hava boşluğunun olduğu bölgede baca etkisi yaratılmasıyla çalışan sistemlerdir. Dış kabukta alt kotlardan alınan hava sıcaklıkla birlikte üst kotlardaki açıklıklardan dışarı verilir. Bu sırada oluşan hava akımı sayesinde iç katmana temiz hava girişi sağlanır. Bu sistemde katmanlar arası mesafenin yapı yüksekliğine göre belirli açıklıkların üstüne geçmemesi sistemin hava akımının devamlılığının sağlanması amacıyla önem taşımaktadır. (Gratia ve De Herde, 2003) Yazın soğutma etkisinin pasif sağlanması amacıyla açılan alt ve üst menfezler, kış döneminde menfezlerin kapatılmasıyla ısı yalıtımı görevi görmektedir. (Çakır, 2012)



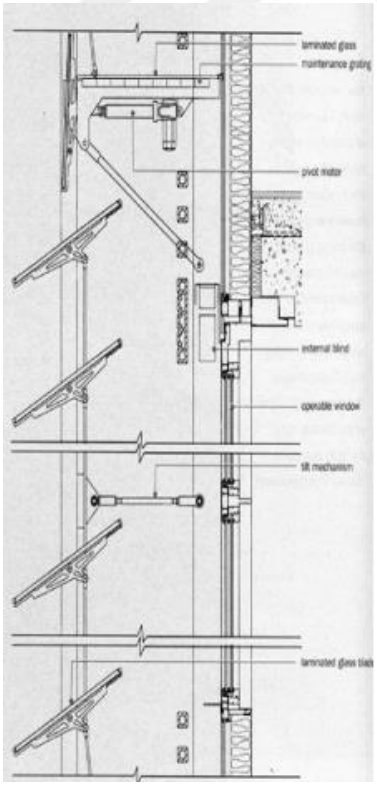
Şekil 2.10. Doğal havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri (Sauerbruch, 2011)

Mekanik havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri; Bu sistemlerde içerdeki ortamın havasının katmanlar arasında dolaştığı sistemlerdir. Dış ortamdan hava

mekanik araçlar yoluyla emilir. Daha sonra yapının ihtiyacına göre ısıtma, soğutma filtreleme işlemlerinden geçer. (Çakır, 2012) Elektrik maliyetleri doğal havalandırmalı cepheye göre daha fazlayken, soğutma maliyetleri bu sistemlerde daha düşüktür. Bu sistemler genellikle dış ortam hava kalitesinin yüksek olmadığı bölgelerde tercih edilmektedir.



Şekil 2.11.: Mekanik havalandırmalı çift kabuk cephe (Örkmez, 2012)

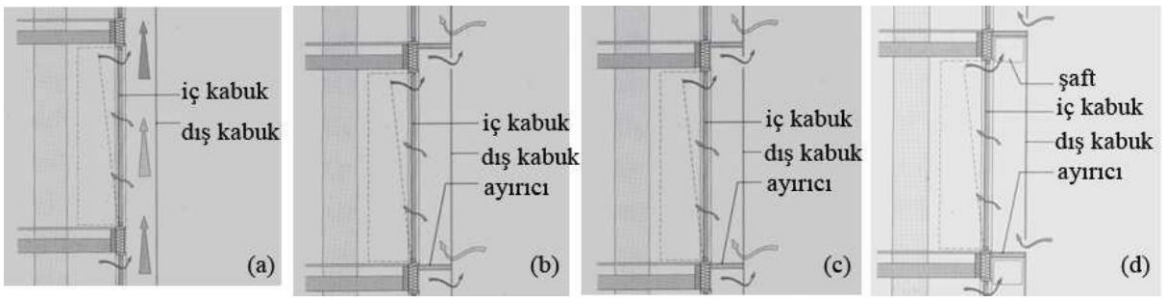


Şekil 2.12. Karma havalandırmalı çift kabuk cephe (Örkmez, 2012)

Bütünleşik (hibrid) havalandırmalı çift kabuk cephe sistemleri; Genellikle ılıman iklim bölgelerinde kullanılan karma sistemlerdir. Yapılarda yaz mevsiminde doğal havalandırma, kış mevsiminde mekanik havalandırma kullanılarak enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sistemler diğerlerine göre daha fazla eleman gerektirmesi sebebiyle ilk yapım maliyetleri fazla olmasına karşın iki sisteminde olumlu özelliklerinden yararlanması bakımından enerji tasarrufu daha yüksek olmaktadır. (Çakır, 2012)

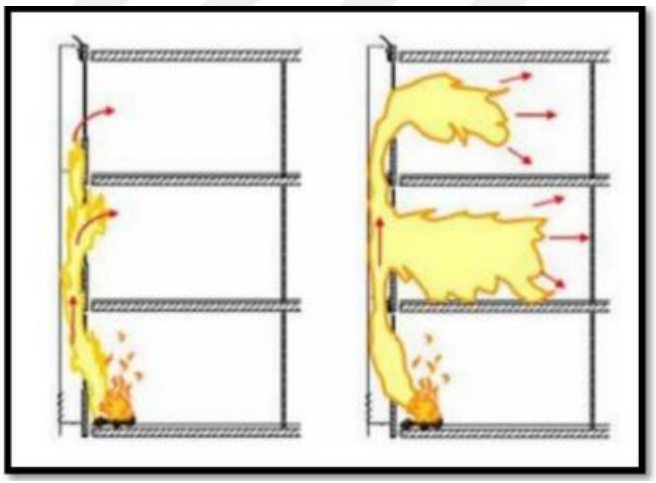
Çift kabuk cephe sistemlerinin diğer sınıflandırılma şekli ise katmanlar arası hava boşluğunun bölgelere ayrılmasına göre yapılmaktadır. Bunlar; kutu pencere tipi, şaft tipi, kat yüksekliğinde ve bina yüksekliğinde olmak üzere dört'e ayrılır.

- Kutu pencere tipi çift kabuk cepheler: her kat hizasında yatay ve düşey bölümlenmenin olup katmanlar arası havanın her katta bağımsız kutular halinde çalıştığı sistemlerdir.
- Şaft tipi çift kabuk cepheler: her katta havayı içeri alacak sistemlerin bulunduğu fakat dışarı hava çıkışının cephe boyunca devam ettiği hava bacalarıyla dışarı atıldığı sistemlerdir.
- Kat yüksekliğinde çift kabuk cepheler: koridor cephe sistemleri adının da kullanıldığı bu cepheler, en yaygın kullanılan çift kabuk sistemlerdir. Hava boşluğunda her kat seviyesinde yatay bölümlenmeler bulunmaktadır. Hava girişleri döşemenin alt noktasından çıkışı ise üst noktasından sağlanır. (Örkmez ve Çetiner, 2012)
- Bina yüksekliğinde çift kabuk cepheler: iki katman arası hava boşluğunun kesintiye uğramadan devam ettiği sistemlerdir. Zemin kat menfezlerinden alınan hava çatı seviyesinden dışarı verilir.



Şekil 2.13. Çift katmanlı cephe tipleri (Örkmez ve Çetiner, 2012)

Çift katman cepheler çeşitli şekillerde sınıflandırılmakla birlikte sistemin ana özelliği, doğal veya mekanik yollarla dış ortam havasından faydalanmak amacıyla hava akımı yaratmaktır. Yangın olayı, ortamdaki oksijen miktarı ve hava akımı ile doğrudan bağlantılı bir tepkimedir. Çift katman cephelerde katmanlar arası hava boşluğu, yangın anında alevlerin ve dumanın düşeyde ilerlemesini kolaylaştırması sebebiyle yangın risklerini ciddi oranda arttıracaktır. Bu yüzden sistemler ve etkilediği dış cephedeki bileşenlerin A1 hiç yanmaz sınıfından seçilmesi gereklidir. Dış cephede kaplama malzemesi kompozit bir yapıda ise 2 saat bütünlük özelliği sağlayabilmelidir. (Kılıç, 2012) Dış kabukta bulunan menfezler, yangın anında oluşan dumanın tahliyesini yeterli oranda sağlayamayacağından hava boşluğunun yapısı yangın ilerleme hızını etkilemektedir. (Çetiner, 2002)



Şekil 2.14. Çift kabuk cephelerde yangının ilerlemesi (Loncour, Deneyer, Blasco, Flamant, Wouters, 2004)

- Hava akımının yönlenmesini sağlayan bu sistemler, katmanlar arası hava akımı ile alevlerin ve dumanın da taşınmasına sebep olacaktır. Bina yüksekliğinde çift kabuk cephe sistemlerinde, yatay veya düşeyde hava akımını kesintiye uğratacak bir engel bulunmaması sebebiyle yangının katlar arası çok hızlı şekilde yayılmasına neden olur. Bu sistemlerde yangın anında çalışacak düşeyden yatay hale geçen kapakçık sistemleri bulundurulması gerekmektedir.
- Koridor tipi çift kabuk cephe sistemlerinde, düşeyde engeller bulunur fakat başlayan yangın yatayda bir engeli olmadığından kolayca mekânın aynı kat

içerisinde her bölümünde geçiş sağlayacaktır. Alev ve dumanların kat içerisindeki geçişinin önlenmesi amacıyla duman perdesi kullanılması gerekmektedir.

- Kutu tipi çift kabuk cephe sistemlerinde hem yatay hem düşeyde engeller bulunması sebebiyle sistemler arasında yangın güvenliği açısında en uygun olan sistemdir. Yağmurlama sistemi bulundurulması gerekmektedir.
- Şaft tipi çift kabuk cephe sistemlerinde, alevlerin ve dumanın ortak şaftlardan tüm katlara yayılma ihtimali bulunmaktadır. Çok katlı yağılarda tercih edilmemelidir.

Güneş Kırıcılar:

Sürdürülebilirlik kapsamında soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik cephelerde güneş kırıcılar kullanılmaktadır. Güneş kırıcı malzemelerin cephede sürekliliği sebebiyle, kullanıldığı malzemenin yanıcı özellik göstermesi halinde cephede yangının ilerlemesine sebep olacağı bilinmelidir. Bu doğrultuda yangına dayanımlı güneş kırıcılar kullanılmalıdır.

Güneş Tüpleri:

Binalardaki yangının yayılmasına katkıda bulunan bir diğer enerji verimliliği uygulaması ise güneş tüpleridir. Güneş tüpü, Güneş ışığı tüpü ya da Güneş ışını tüpü olarak tabir edilen kavram, bir çeşit alternatif ve yenilenebilen enerji türüdür. Gün içerisinde, güneşin doğuşundan batışına kadar alınan ışığı iç mekâna yansıtarak aydınlatma sağlar. Dışarıdan gelen gün ışığını içerisinde yüksek yansıtıcı tabakayla kaplanmış küçük tüplerle aktarım sağlayarak doğal aydınlatmayı uzun mesafelere ileten yapıdır.

Bu tüpler enerjinin korunumu, verimliliği açısından her ne kadar sağlıklı olsa da yangın anında alevlerin hızla yayılmasını sağlayacak bir taşıyıcı haline gelebilirler. Bu ürünlerin tasarımcıları Duman veya yangın damperlerinin içine nüfuz ettikleri yerlerin kurulumunu düşünmeyebilir. Kullanıldığı yapılarda ilave yangın önlemlerinin alınması gerekmektedir. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Tenteler:

Yapıların açık balkon, teras gibi dış ortam ile ilişki kurduğu alanlarında, yarı açık ve kapalı mekanlar oluşturmak, bu alanlarda güneşin istenmeyen etkilerinden korunmak amacıyla tenteler kullanılmaktadır. Tente malzemelerin hafifliği, esnekliği sebebiyle kumaş ve PVC türevi malzemelerden tercih edildiği bilinmektedir. Olası bir yangında bu malzemelerin tutuşma riski düşünülmeli ve yangının ilerlemesine sebep olabileceği alanlarda kullanılmamalıdır.

Uyarlanabilir Cephe Sistemleri:

Gelişen teknolojilerle birlikte, cephe sistemlerinin çeşitlenmesi kullanılan sistemlerin detaylandırılması ve her geçen gün artan gereksinimleri karşılamaya yönelik deneyimleri beraberinde getirmektedir. Genellikle giydirme cepheli yapı kabuklarında, yapının güneş enerjisinden optimum oranda faydalanması amacıyla, ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılmasına yönelik dinamik cephe sistemleri tasarlanmaktadır Dinamik cephe sistemleri dış ortam sıcaklık koşullarına göre hareket ederek enerji ihtiyacını düşürmeye yönelik yapılmaktadır. Fakat bu sistemler, yapıları, çalışma şekilleri, kullanılan malzemeleri bakımından farklılık göstermektedir. Bu sistemlerde malzeme kendi başına, motorla, hidrolik bir sistemle, pnömotik sistemle çalışabilmektedir. Tek ortak özelliği enerji korunumuna katkısı olan bu sistemleri yangın riskleri açısından genellemekte mümkün değildir ancak geneli yüksek yapılarda ve giydirme cephe sistemlerde bulunması sebebiyle hali hazırda yangın risklerinin yüksek olduğu yapılardır. Bu doğrultuda kullanılan malzemelerin seçilirken yanıcılık özelliklerine ve acil durum müdahalelerini kısıtlamamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra bu sistemler, motorla, pnömatik sistemlerle, hidrolik sistemlerle ve malzeme özelinde hareket sağlayabilmektedir. Sistemler içerisinde motorların kullanıldığı ve elektrik hattının geçtiği uyarlanabilir cephelerde kabloların korunumlu halde bulunması, acil durumlarda elektrik kesintisinin sağlanması, kullanılan kabloların halojensiz seçilmesi gerekmektedir.

2.3.6. Bina Sistemleri ve Alternatif Enerji Kaynaklarında Yangın Riskleri

Sürdürülebilirlik kapsamında tükenmeyen enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda yapılarda, alternatif enerji kaynaklarının

kullanılarak elektrik enerjisi elde edilen sistemler, enerji verimliliği yüksek sistemler, geri dönüşümün kullanıldığı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler fosil yakıtlardan elde edilen enerji ihtiyacının azaltılması, ham madde ve kaynak tüketiminin azaltılmasına yönelik yenilikçi uygulamalardır. Gelişmekte olan teknolojilerle birlikte ortaya çıkan bu sistemler geleneksel sistemlere göre daha az denenmiştir. Dolayısıyla, olası bir yangında sistemlerin yapıya ve çevreye vereceği etkileri kesin olarak bilinmemektedir. Bunun yanı sıra sistem elemanlarında ve kullanılan gazlarda yanıcı/patlayıcı özelliğe sahip olanlar bulunmaktadır. Bu başlık altında sistemler ve olası yangın risklerine değinilmiştir.

Fotovoltaik Panel Sistemleri

Güneş enerjisi, kaynağı güneş olan yeryüzünde 0-1100 W/m2 değerlerinde yayılmakta olan yenilenebilir enerji türüdür. Tükenmemesi, çevreye zararsız oluşu, hemen her yerde kullanımının mümkün olması, enerjiye dönüşümünde kapsamlı bir sisteme ihtiyaç duymaması sürdürülebilirlik açısından çok tercih edilebilecek kaynaklardan olmasını sağlamaktadır. Fakat güneş enerjisi, sürekliliği olmadığı ve bölgeye göre veriminin değişim göstermesi gibi sebeplerden depolanması gerekmektedir. Bu doğrultuda kullanılan fotovoltaik paneller aktif sistem olarak tanımlanmaktadır. (Rüstemli ve ark., 2013) Güneşten alınan enerjiyi doğrusal akım elektrik enerjisine çeviren yarı iletken maddelerden oluşan sistemlere fotovoltaik sistemler adı verilmektedir. Fotovoltaik sistemler, fotovoltaik hücrelerin fotovoltaik etkisi sonucu enerji dönüşümü sağlamaktadırlar. (Öztürk, 2017)

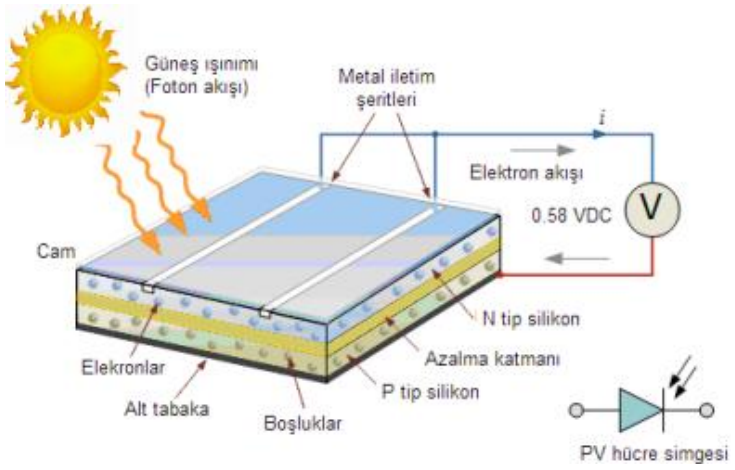
Farklı ülkelerde yapılan araştırmalarda toplanan yangın verileri incelendiğinde fotovoltaik panellerin kullanıldığı yapılarda meydana gelen birçok yangın olduğu görülmüştür;

- Almanya'da bir proje kapsamında fotovoltaik panellerin güvenliği ve yangın riskleri alanında yapılan bir çalışma, 1995-2012 yılları arasında fotovoltaik sistemlerinde bulunduğu yapılardaki yangınlar incelenmiştir. Karşılaşılan 400 yangından, 179 'unda yangın sebebinin fotovoltaik paneller olduğu tespit edilmiştir. Bu yangınların 10'unda yapının tamamen yıkıldığı, 65'inde yapının hasara uğradığı geri kalanlarda fotovoltaik panelin hasar gördüğü tespit edilmiştir.

Bu yangınlarda fotovoltaik panelin kurulu olduğu yere bakıldığında %51'inin çatıda ve yapıdan bağımsız kurulumlu olduğu görülmüştür. Yangın sebebi ise, %37 oranında hatalı kurulum, %35'inde ürün kusurundan, %18'inde tasarım hatası sebebiyle görülmüştür. Aynı çalışmada yangınların yıllara göre arttığı da tespit edilmiştir. (Laukamp ve ark. 2013)

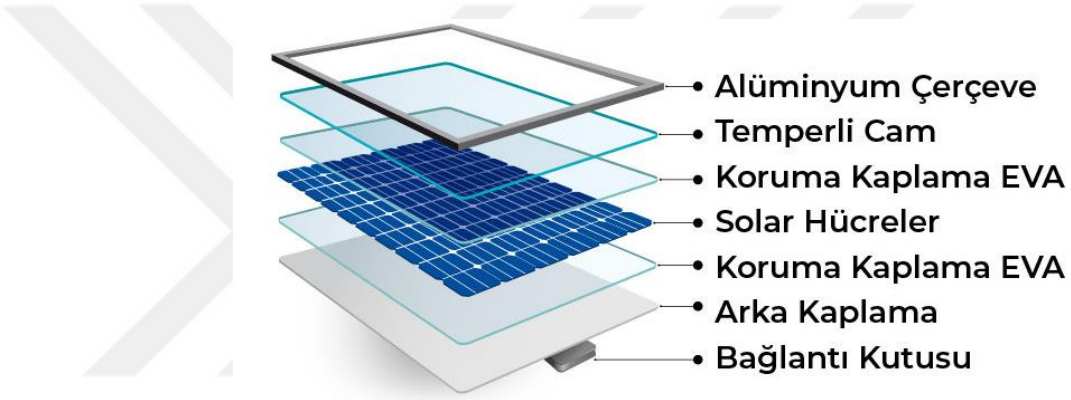
- İtalya'da yapılan benzer bir çalışma ise, 2002-2015 yılları arasında 550.000 adet binaya fotovoltaik panel sisteminin kurulduğu ve bunların 2500'ünde yangın çıktığı tespit edilmiştir. Bu yangınların yıllara göre dağılımlarına bakıldığında 2012-2015 yılları arası her yıl 450'den fazla yapıda yangın olayı yaşanmıştır. Bu yangınların sebepleri ise; sistemin fazla ısınması, elektrik arkı meydana gelmesi sebebiyle olduğu bilgisi paylaşılmıştır. (Bonomo ve ark., 2017)
- İngiltere'de yapılan fotovoltaik panellerle ilgili araştırma 'da ise; 2018 yılına ait yangın raporları incelendiğinde yıl içerisinde fotovoltaik panellerin kullanıldığı 80 yapı da yangın vakalarının görüldüğü, bunların 58'inde fotovoltaik panellerin yangına sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu yangınların sebepleri incelendiğinde; 21'inde kurulum hatası,6'sında sistem tasarım hatası,3'ünde ürün arızası, geriye kalan kısım ise bilinmeyen ve panellerle ilgisiz sebepler görülmüştür.

Bu yüzdelere göre yangınlarda fotovoltaik panellerin yüksek riskler oluşturduğunu göstermektedir. Öncelikle sürdürülebilir yapılarda kullanılması halinde, önlemler alınsa dahi yangın risklerinin bulunacağı bilinmelidir.



Şekil 2.15. PV hücrenin çalışma ilkesi (Öztürk, 2017)

Şekilde verilen sistem fotovoltaik panellerin çalışma şeklini anlatmaktadır. Fotovoltaik hücreler birleşerek modülleri, iki ya da daha fazla modül birleşerek dizileri, diziler ise bir araya gelerek panelleri oluşturmaktadır. Fotovoltaik sistemin çalışması ise; güneş ışınımındaki fotonlar, silikon gibi yarı iletken malzemelere çarpar ve atomlardan serbest elektron açığa çıkar. Bu sırada fotonların bir kısmı hücre tarafından soğrulur bir kısmı yansıtılır. Kalan kısım hücre içinden geçer. Soğrulan kısımda enerji alınmış olur ve kendi içerisinde elektriğe dönüştürülmektedir. (Öztürk, 2017) Ortalama bir hücrenin çıkış gerilimi 0.5 volt civarındadır.30-36 adet hücre birleşerek modülleri oluşturmaktadır. (Rüstemli ve ark., 2013)



Şekil 2.16. Fotovoltaik panel sistem elemanları (Anonim, 2022)

Sistemin en küçük elemanı ve yapıtaşı olan fotovoltaik hücrelerin çevre koşullarından zarar görmemesi için paneller katmanlar halinde kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücreler ortada bulunurken, genel olarak üst katmanda hücreler için dayanıklılık ve koruma sağlayan temperli cam, dışında paneller, yalıtım için bir katmana ve panel içindeki ısı yayılımı ve neme karşı koruyan bir arka tabakaya sahiptir. Sistem için yalıtım mühimdir, paneldeki sıcaklık artışı performansı ve verimliliği düşürmektedir. Bu sistemdeki fotovoltaik hücre için ana madde olarak yarı-iletkenlerin kullanılmaktadır. Sistemin çalışmasına en elverişli olanlar; silisyum, kadmiyum sülfüt, glyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. (Güneş, 2022) Değişik üretim teknolojilerine göre tasarlanabilen fotovoltaik hücreler: monokristalli, polikristalli, ince film ve şerit şeklinde olmak üzere üç grupta üretilmektedir. Bu sistemlerin tekil olarak yapı veya yapı gruplarında binalara entegre edilen fotovoltaik panellerde bulunanları üretim teknolojilerine göre;

- **Monokristal Paneller:** Yüksek verimli monokristal hücrelerden oluştuğu için verimi %15 civarındadır, polikristallere göre daha az yer kaplar fakat üretim süreci uzundur.

- **Polikristal Paneller:** Monokristale göre daha düşük verimli hücrelerden üretilmektedir. Verimi %12 civarındadır. Uygun maliyetli olması sebebiyle kullanımı yaygındır. (Uyar, 2016)

- **İnce Film Paneller:** Geniş yüzeylerde ince film şeridi halinde kaplanmasıyla yola çıkılan bu sistemler, ışık yutma oranı yüksek hücrelerden oluşur. Düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo üzerinde kaplanarak uygulanmıştır. Amorf silisyum, kadmiyum ve tellürden meydana gelmektedirler. Yapı olarak çok kristalli malzemelerdir. Verimliliği %7-%14 arasında değişir.

Fotovoltaik sistemlerin yapılarda sağladığı enerjinin kullanım şekline göre iki şekilde sınıflandırılmaları mümkündür;

- **Şebekeden Bağımsız Sistemler:**. Daha çok ufak ölçekli yapılarda, çevre düzenlenmesinde vb. kullanılmaktadır. Gelen enerji kendi sisteminde depo edilir. Elektrik kesintisi vb. durumlarda ekonomik, çevreci çözüm sunar.

- **Şebekeye Bağlı Sistemler:** Sistem daha kapsamlı olduğundan büyük çaplı üretimlerde kullanılma olasılığı daha fazladır. Sistem arıza ve acil durumlarda kullanılacak güvenlik şalteri ile donatılması riskler açısından avantaj sağlar. (Kantaroğlu, 2010)

Fotovoltaik paneller yapılarla bir arada kullanımında birleşik kullanım şekline göre de ikiye ayrılmaktadır; Binaya adapte sistemler, mevcut veya tasarım aşamasındaki yapıda kullanılabilen bu sistemler, statik yükünü aktararak enerji üretimine katkıda bulunurlar. Genellikle çatılarda kullanıldıkları gözlenmektedir. Binaya entegre sistemler, Bu sistemler yapının bir parçası olarak yapı tasarım aşamasında belirlenir. Sistemin tasarımdan kullanım süreci tamamlanana kadar bu sistemlerle birlikte düşünülmüş olması

aralarındaki temel farktır. Tasarım aşamasından planlanmasından ötürü çatılar, cepheler, balkonlar, parapetler gibi kullanım yerleri çeşitlenmektedir.

Fotovoltaik paneller, konumlanışına göre sınıflandırıldığında 3 başlıkta incelenmektedir. Cephede, eğimli çatıda, düz veya eğrisel çatıda konumlanmasına göre ayrılmıştır. Çatıda kullanımı daha yaygın olmakla birlikte cephelerde de çeşitli şekillerde kullanılmaya başlanmıştır. (Genç ve ark., 2017) Giydirme cephe, atriumlar, çift cidarlı ve tek cidarlı cephelerde kullanılır.

Fotovoltaik sistemlerin yangın riskleri; Konunun başında verilen yangın tespitlerinden de görüleceği üzere fotovoltaik paneller üzerinde biriken elektrik yükü ve sistem elemanlarının yanıcı özelliklere sahip olması sebebiyle yüksek yangın riskli sistemlerdir.

- Sistemlerin bilinçsiz tasarım ve kurulumları sebebiyle yangın çıkmasına sebep olduğu sonuçlarda görülmüştür. Mevcutta kullanılan panellerin, yangın verileri de incelendiğinde bir kısmında sistemin fazla ısınması sebebiyle yangın çıktığı görülmüştür. Üreticiler tarafından sistemlerin geliştirilerek tasarımdan kaynaklı ve sistemin ısınmasından kaynaklı yangın risklerini elimine edilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra montaj ekiplerinin bilinçlendirilerek hatalı kurulumların önüne geçilmelidir.
- Panellerde kullanılan katmanların alevleri iletmeyen yangın sınıfına sahip olacak şekilde tasarlanması yangının hızlı bir şekilde kontrol alınması için gereklidir.
- Kullanılan kabloların mutlaka halojensiz seçilmesi ve korunumlu şekilde invertöre iletiminin sağlanması gereklidir.
- Elektrik gücü kesilse dahi, kablolardan enerji üretildikçe geçiş olacaktır. Olası bir yangında bu durumdan en az şekilde etkilenilmesi amacıyla invertör ile güneş enerjisinin üretildiği panel arasındaki mesafe kısa tutularak elektrik geçişinin yarattığı riskler de azaltılabilir.
- Ayrıca başka bir noktada başlayan yangında dahi cephe veya çatıda fotovoltaik panellerin bulunması ve sistem üzerinden elektrik akımının geçmesi yangın riski oluşturur. Şebekeye bağlı sistemlerde acil durumlarda sistemin elektriği kesilecek şekilde tasarlanmaktadır. Yalnızca şebekeye bağlı sistemlerde değil, bağlı olmayan sistemlerde de acil durumlarda batarya depolama sisteminden kesinti

sağlanması gerekmektedir. Bunu gerektiğinde manuel olarak müdahale ekibi yapabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

- Bu tip sistemlerin çatıda ve cephede getireceği yüklerde gerek statik açıdan gerekse yangın yükü olarak hesaba katılmalıdır. Tüm çatının veya tüm cephenin kaplandığı durumlarda müdahale ekiplerinin erişimleri düşünülmelidir.
- Tasarım sırasında eğer yapı ile sistem arası boşluklar varsa bunlar hava akımının ve ısı geçişi düşünülerek tasarlanmalı, yangının baca etkisiyle hızla yayılmasına engel olunmalıdır.

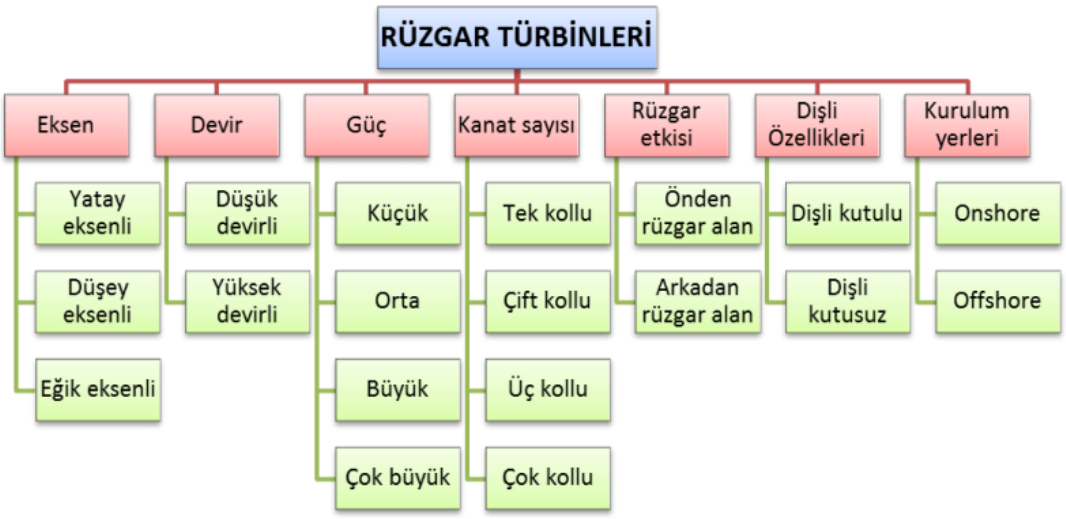
Rüzgâr Türbini Sistemleri

Rüzgâr, yeryüzünün ısınması ve soğuması sonucu açığa çıkan kuvvetlerin etkisiyle oluşan hava hareketleridir. Rüzgâr enerjisi ise hava akımından doğan hareket enerjisidir. (Elibüyük ve Üçgül, 2014) Enerjinin korunumu ve sonu olan kaynakların tüketiminin azaltılması ancak yenilenebilir kaynakların daha sık kullanılmasıyla mümkündür. Doğal haliyle depo edilemeyen ve sürekliliği olmayan rüzgâr enerjisi ancak bir sistem sayesinde kaynağa dönüştürülebilmektedir.

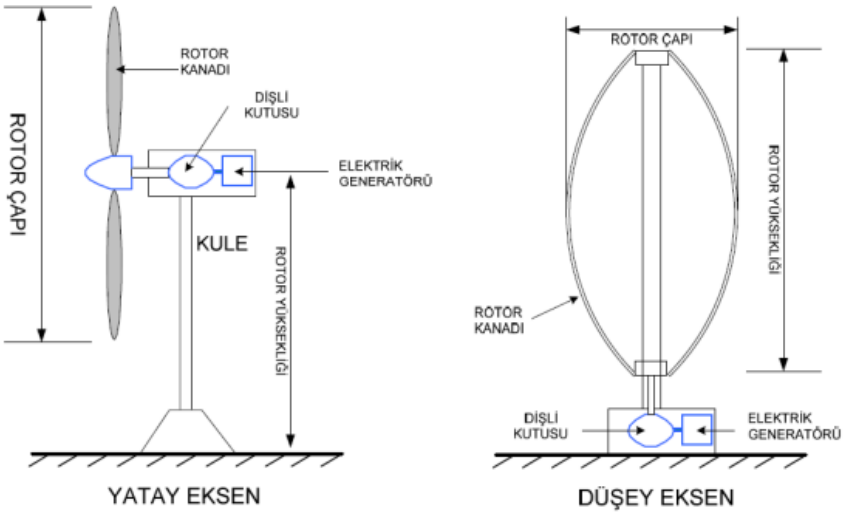
Sürdürülebilirlik doğrultusunda ortaya çıkan aktif sistemlerden biri olan rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini önce mekanik daha sonra elektrik enerjisine dönüştürerek kullanılmasına imkân sağlamaktadır. (Rüzgar türbini t.y. vikipedi)

Rüzgâr türbin sistemlerinde genel olarak, jeneratör, kule, dişli kutusu (hız dönüştürücü), pervane, elektronik elemanlardan bulunmaktadır. Rüzgâr türbinleri dönme ekseni, devirleri, kurulum yeri, dişli özelliği, rüzgâr etkisi, kanat sayısı ve gücüne göre çeşitlendirilmektedir. Bu sistemlerin detaylı sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.5. Rüzgâr türbini sınıflandırılması (Elibüyük ve Üçgül, 2014**)**



Fakat literatürdeki birçok kaynakta temel olarak dönme eksenine göre sınıflandırıldığı gözlemlenmiştir. Şekilde yatay ve düşey eksenli rüzgâr türbinleri ve onların iç aksamında bulunan türbini oluşturan elemanlara yer verilmiştir.

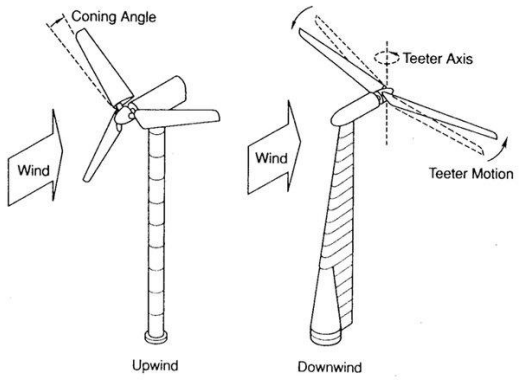


Şekil 2.17. Yatay ve Dikey eksenli rüzgâr türbin elemanları (Pak Öztürk, E. ve Orhon, A. V. 2019)

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT): rüzgâr yönüne paralel dönme eksenine sahip, kanatların rüzgâr yönüne dik olduğu sistemlerdir. En yaygın kullanılan sistemlerden biri olan YERT, Yaklaşık %45 oranında verim alındığı literatürde belirtilmektedir. Genel olarak yerden yüksekliği 20-30m ve çevre engellerinden minimum 10m yükseklikte

konumlanması gereken YERT, rüzgâr hızının rotor kanadı uç hızına bölünmesiyle elde edilen oran kanat uç hız oranı (λ) denmektedir. (Nurbay ve Çınar, 2005)

Kanat sayısı bu oranlara göre belirlenir. Kanat sayısı azaldıkça dönme hızı artmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr tribünlerinin titreşim miktarı ve ses çıkarma seviyesi yüksektir. Bu yüzden yapıyla bütünleşik tasarımlar yapılırken bu özellikler mutlak surette göz önünde bulundurulmalıdır. (Pak ve Orhon, 2019) YERT, rotor kanat sayısı ve rüzgârı önden alan, rüzgârı arkadan alan sistemler olarak çeşitlenmiştir.



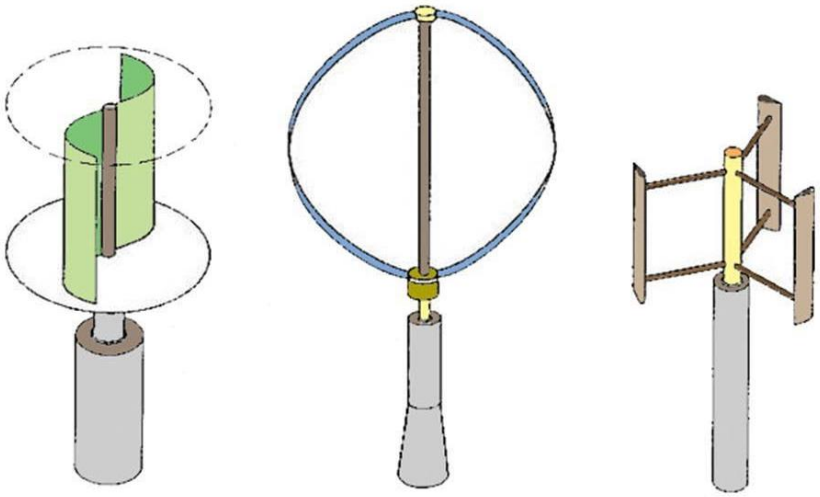
Şekil 2.18. Rüzgâr yönüne göre türbinler (Hansen ve Butterfield, 1993)

- Rüzgârı Önden Alan Türbinler (Nurbay ve Çınar, 2005)
- Rüzgârı Arkadan Alan Türbinler (Karadağ, 2009)

Kanat sayılarına göre incelendiğinde rüzgâr türbinleri, tek kanatlı rüzgâr türbini, çift kanatlı rüzgâr türbini, üç kanatlı rüzgâr türbini ve çok kanatlı rüzgâr türbini olarak ayrılmışlardır. (Nurbay ve Çınar, 2005)

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT): rüzgâr akımı dönme eksenine dik ve her yönden gelebilecek rüzgâr akımına açıktır. Bu yüzden 1,6-3,5 km/h aralığı gibi çok düşük rüzgâr hızlarında dahi çalışırlar. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu yere kurulabildiğinden, kuleye ihtiyaçları yoktur. Yaw mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgâr hızında yüksek hızlara göre daha verimli çalışırlar. Bu sebeplerden yatay eksenli rüzgâr türbinlerinden ayrılmaktadır. DERT'nin verimi yaklaşık %35'tir. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre oluşturduğu titreşim ve ses miktarı az olması sebebiyle

yapılara entegre edilmesi daha basittir. (Pak ve Orhon, 2019)) Kendi içlerinde Savonious, Darrieus, H-darrieus gibi çeşitlere ayrılır. (Karadağ, 2009)



Şekil 2.19. Düşey rotor tipleri (Karadağ, 2009)

- Savonious tipi :
- Darrieus tipi :
- H-darrieus tipi : (Nurbay ve Çınar, 2005)

Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

Güçleri bakımından rüzgâr türbinleri sınıflandırıldığında ise dört tip bulunmaktadır.

- Küçük güçlü türbinler: Güçler 30 kW'tan az,
- Orta güçlü türbinler: Güçleri 30-100 kW arasında,
- Büyük güçlü türbinler: Güçleri 100-1000 kW arasında,
- Çok büyük güçlü türbinler: Güçleri 1MW ve üstündeki türbinleri kapsar. (Canpolat, 2013)

Bu listedeki rüzgâr türbinlerinden, küçük ve orta güçlü rüzgâr türbinleri tek bir yapıda kullanılırken, büyük ve çok büyük güçlü olanlar rüzgâr santralleri gibi tesislerde kullanılırlar. Kendi başına kullanılan büyük ve çok büyük güçlü türbinler bina bağımsız olarak adlandırılmaktadır. Yapılarla birlikte kullanılan rüzgâr türbinleri ise kendi arasında yapı tasarım özellikleri ve ihtiyacı doğrultusunda farklılaşmaktadır. Yapıyla bütünleşik

tasarım halindeki rüzgâr türbinleri birleşme şekline göre bina-monte ve bina-entegre olmak üzere ikiye ayrılır.

Bina-Monte Rüzgâr Türbinleri

Bina-monte rüzgâr türbinleri, temelde rüzgâr türbinlerinin elemanlarından biri olan kule görevini yapının üstlendiği sistemlerdir. Yalnızca tasarım aşamasında olunan yapılara değil mevcut yapılara da uygulanabilmektedir. Çünkü bina formu ve tasarımında da köklü müdahaleler değil, ufak çaplı iyileştirmeler için düşünülüp eklenen rüzgâr türbin sistemleridir. Bina-monte türbinler ve bina-entegre türbinler arasındaki fark asıl olarak sürdürülebilir tasarım kaygısı ile belli olmaktadır. Bina-monte sistemlerde yapının sürdürülebilir olması gibi bir kaygı güdülmemektedir.

Bina-Entegre Rüzgâr Türbinleri

Bina-entegre rüzgâr türbinlerinde sistem mimari tasarımda rüzgâr enerjisinin kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu sistemler kendi içinde mesnetli ve mesnetsiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapının formu tarafından desteklenen rüzgâr yönü, hızı, yoğunluğunu maksimum ölçüde fayda sağlamaya yönelik tasarımlar yapılarak rüzgâr enerjisinin aktif olarak kullanılması amaçlanır.

- Bina-mesnetsiz rüzgâr türbinleri
- Bina-mesnetli rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinlerinin yangın açısından tasarım ve uygulamasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenirken yapıya entegre olan rüzgâr türbinleri ile bina bağımsız rüzgâr türbinlerindeki ihtiyaçlarda farklılıklar gözlemlenecektir. Genel olarak rüzgâr türbinlerinde yaşanan hasarların kaynağı araştırıldığında, hasarların yaklaşık %25- %35 oranında yangın sebebiyle gerçekleştiği belirlenmiştir. Raporlanabilen yangınların çoğunda türbinlerin yangın sonrası kullanılamaz bir hal aldığı belirlenmiştir. Çıkış sebebi genellikle aşırı ısınma, mekanik arıza, kısa devre olduğu belirlenmiştir. Özellikle nasel (nacelle) adı verilen, içerisinde vites kutusu, düşük ve yüksek hız milleri, jeneratör, kontrol ünitesi ve fren bulunan kısımda ve şebekeye enerji aktarmak için kullanılan trafo ve elektrik kontrol panosunda gözlenmektedir. Rüzgâr türbinlerinde maliyeti düşürmek

ve oluşacak yükü azaltmak için kullanılan hafif fakat yanıcı birçok malzeme kullanılmaktadır.

- Rotor kanadında; reçineli kompozit yapılar,
- Vites kutusunda bulunan yağ,
- Jeneratörde kullanılan yalıtım malzemesi,
- Naselde bulunan hidrolik yağ, kablolar, fiberglass takviyeli polimerler,
- Güç çevirici de bulunan elektronikler, kablolar,
- Dönüştürücüde bulunan yağ, kablolar ve yalıtım malzemeleri yanıcıdır.

Rüzgâr türbinlerinde yangın riskleri; Rüzgâr türbinleri bağımsız veya yapıyla bütünleşik oluşu fark etmeksizin yukarıda bahsedildiği üzere yanıcı malzeme içeriği yüksek sistemlerdir. Konumlandığı yer itibariyle yangına anında müdahalesi oldukça zordur. Bu yüzden sistemin kullanıldığı yerlerde alınacak önlemler sistem elemanlarında alev iletmeyen malzemelerden tercih edilmemesi, halojensiz kablo kullanılması, kabloların korunumlu olması, sistemlerde arıza oluşmaması için düzenli kontrol ve bakımların yapılması, sistemin olası bir yangın anında elektriğin manuel yada otomatik kesilmesine imkan sağlayacak şekilde yapılması, aktif yangın alarm sistemleri ve yangın söndürme sistemlerinin kurulması ve çalışır durumda olduğunun belirli aralıklarla kontrol edilmesi, sistemde yangın güvenliği adına işaretleme ve etiketlemelerin yapılmış olması gerekmektedir. Bunlar rüzgâr türbinlerinin tamamı için geçerlidir. (Seifert, 2016) Yapılarla bütünleşik rüzgâr türbinlerinde bunlara ek olarak, türbin sisteminin toplam yükünün statik açıdan hesaplanması ve bu hesabı rüzgârın yoğun olduğu halinde çatıya ya da konumlanma yerine eklenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda olası bir rüzgâr türbininde çıkan yangında, yapıya sirayet etme hızı ve yolları da tasarım aşamasında düşünülmelidir. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Hidrojen Yakıt Pili Güç Sistemleri

Hidrojen yakıt pili, hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal reaksiyonla birleştirilerek kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan bir mekanizmadır. Hidrojen yakıt pili sistemi çalışırken, hidrojen ve oksijen kullandığından sistemin yan

ürünü su olmaktadır bu sebepten günümüzde kullanılmakta olan enerji sistemlerinden daha çevre dostu kabul edilmektedir. İki ayrı yöntemle depolama yapılabilmektedir;

- Hidrojenin güç sisteminin içerisinde sıvı ya da gaz fazda saf haliyle bulunduğu sistemlerdir.
- Diğer bir sistem ise, hidrojenin başka bir kaynakta mevcut bulunmasıdır.



Şekil 2.20. Hidrojen yakıt pili güç sistemi (Short, 2011)

İki türünde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İlk sistemde hidrojen saf halde olduğundan yakıtın kalitesi ve miktarının doğrudan bilinmesi mümkündür.

Hidrojen yakıt pili güç sistemlerinde yangın riski; hidrojen, en geniş yanıcılık özelliğine sahip maddedir. Sıcaklığın mevcut olduğu bir ortamda hidrojenin %4 seviyesine gelmesi tutuşma için yeterlidir. Bu özelliklerinden dolayı hidrojenin bulunduğu sistemlerde yangın risklerine göre ciddi önlemler alınması gereklidir. Doğalgaz halinde bulunma sürecinde ise yan ürün CO2 olacağından ilk seçenek kadar daha az kullanılır. Fakat doğalgazlarda da hidrojen gibi çok az miktarda bulunmasına rağmen yanıcı özelliğe sahip gazlar olması veya sistem doğalgazları hidrojene çevirdiğinde yine bulunacağından yangın riski mevcuttur. Bunun yanı sıra hidrojen depolanması halinde, sıkıştırılmış vaziyette bulunacaktır. Herhangi bir sızıntı halinde basınç etkisiyle havada yayılması hızlı ve alevlenmeden yanması mümkündür. Yapı da

sistemin kullanılmak istenmesi halinde, olası yanma/patlama olaylarına karşın yapı dışında açık alanda bulundurulmalı, bunun mümkün olmadığı hallerde ise betonarme yangın dayanımı yüksek korunaklı bir kompartıman alanında bulundurulması gerekir.

Akü Depolama Sistemleri

Sürdürülebilirliğin önemli başlıklarından biri olan enerjinin korunumu ve buna bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması olduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek olan enerjilerin dönüştürülerek depolanması gerektiğinde kullanılmasına imkân sağlaması için batarya depolama sistemleri oluşturulmaktadır. Batarya depolama sistemleri; fotovoltaik enerji sistemleri, rüzgâr enerji sistemleri, hidroelektrik jeneratörler, hibrit enerji sistemleri ve diğer enerji kaynakları için kullanılabilmektedir. Batarya sistemlerinin kullanılmasının birden fazla amaç doğrultusunda kullanıldığı söylenebilir. Bunlar ise şu şekildedir;

- **Enerji kalitesi:** saniyeler ya da daha kısa süreler için yapılan depolama şeklidir.
- **Gücü destekleme**: Devamlı çalışan sistemlerin kullanıldığı yapılarda, sistem arızalarının ortaya çıkmasına engel olmak adına kesintilerden etkilenmemek üzere, saniyelerden dakikalar mertebesine kadardır.
- **Enerji yönetimi:** Elektrik enerjisinin üretilip, tüketime ihtiyaç duyulan zamanlarda kullanılması için depolandığı şekildir.

Elektrik enerjisinin, kimyasal enerji olarak depolanıp ihtiyaç duyulduğunda tekrar elektriğe dönüştürüldüğü sistemlere pil, pillerin bağlanarak oluşturduğu yapıya batarya(akümülatör) denir. (Mazman ve Yılmaz, 2019) Enerjinin depolanması çok farklı şekillerde yapılabilmektedir. Bunun seçiminde sistemin ne ölçekte bir enerjiyi depolayacağı ve kullanacağı önemlidir. Genel olarak güneş enerjisi depolanmasında kurşun asit ve lityum piller, rüzgâr enerjisinin depolanmasında sodyum sülfür ve redoks bataryalar kullanımı yaygındır. (Mazman ve Yılmaz, 2019)

Batarya sistemlerinin yangın risklerine bakıldığında; Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerjili malzemelerle yüksek yanıcılığa sahip elektrolitleri bir araya getirdiğinden yangın riski açısından tehlikeli olacaktır.

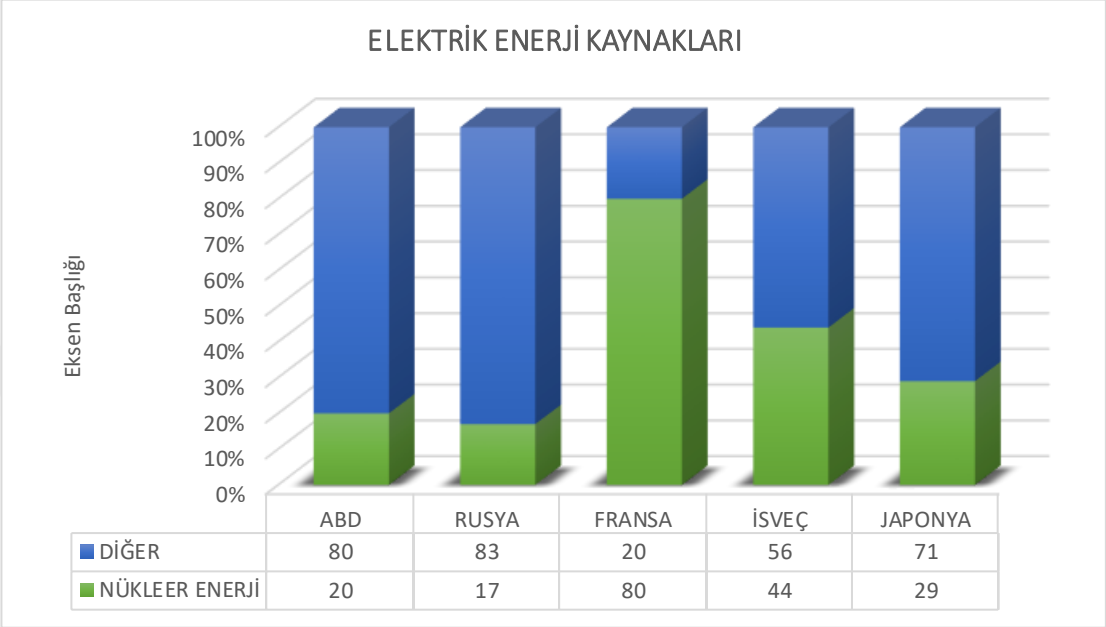
- Lityum iyon bataryaların olası bir yangında erken müdahale ve yangın söndürme sistemlerinin yetersiz kalması halinde ısıl sürüklenmeye sebep olacak ve sistemin alev alması kaçınılmaz olacaktır. (Çakır,2020) Isıl sürüklenme, lityum iyon bataryalarda görülen pillerdeki aşırı sıcaklık artışı ve düzensizliği sebebiyle ekzotermik ve elektrokimyasal tepkimelerin sürekliliğidir. (Türkbay, 2018)
- Batarya sistemleri, yapılarda kullanıldığı sistemlerde çoğu zaman bir insana şok etkisi verecek enerjiye sahiptir. Bu sebeple önlemler alınırken normal bir elektrik kaynağında alınan önlemler bu sistemler içinde alınmalıdır.
- Yangın güvenlik önlemi olarak sistemin betonarme yangın dayanımı yüksek bir kompartımanda tutulması gerekmektedir.
- Enerji depolayan sistemlerin çoğu yüksek oranda aşındırıcı asitler içermektedir. Teması ya da solunması halinde sakatlık ve ölüme sebep olabileceği bilinmeli ve yangına müdahale aşamasında korunma önlemleri alınmalıdır.
- Sistemlerin bazılarında yanıcı metaller ve su ile bir araya geldiğinde yangın şiddetini arttıracak özellikte maddeler bulunmaktadır. Bu yüzden müdahale yöntemleri ve zamanı konusunda bilinçli olunmalıdır. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Nükleer Enerji Kaynaklı Güç Sistemleri

Enerjinin korunumu ve yapının her alanında kullanılan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi sürdürülebilirliğin en önemli özelliklerindendir. 21. Yy teknolojileriyle, konut, işyeri, okul, hastane vb. tüm yapıların en temel ihtiyaçlarından biri elektrik enerjisidir. Günümüzde en çok kullanılan enerji formudur. Enerji kaynağı olarak; petrol, kömür, doğalgaz, nükleer güç veya yenilenebilir kaynaklardan ikincil bir enerji olarak elde edilebilir. (Anonim, t.y.) Bu listede birincil üretim olarak nükleer güç hariç tüm kaynaklar tükenme endişesi altındaki rezervli kaynaklardır. Ülkemizde çok yaygın olmamakla birlikte birçok ülkede yaygın kullanılan nükleer güç, nükleer enerji santrallerinden karşılanmaktadır. Atomun çekirdeğinden elde edilen bir enerji türüdür. Zenginleştirilmiş uranyumun parçalanarak(fisyon) ortaya çıkardığı büyük enerjidir. Santrallerde bu tepkimeyle oluşan enerji, su buharının sıcaklığını arttırırken, elektrik jeneratörüne bağlı türbinlere aktarılarak elektrik enerjisi oluşturur. Gelişmiş ülkelerde elektrik ihtiyacının ciddi bir bölümünün bu şekilde karşılanması ileride

mini-nükleer enerji reaktörlerinin bölgesel veya bireysel kullanımlarını oluşturacağı düşünülmektedir. .(Tidwell ve Murphy,2010)

Çizelge 2.6. Nükleer enerji kullanımının ülkelere göre dağılımı



Nükleer enerji santrallerinin olumsuz yönlerinden biri yangın riskidir. En çok bilinen kazalardan olan Çernobil'deki Nükleer enerji santralindeki patlamanın anlık çok büyük bir alanda zarara sebebiyet vermesinin yanı sıra, radyoaktif parçacıkların çevreye yayılması ve besin zincirine dağılması on yıllar boyunca insanlara zarar vermiştir. (Ay, 2019) Özetle, nükleer enerji santrallerinde elde edilebilecek enerjinin ölçeğinin büyük olması olası risklerde kayıpların ve zararlarında büyüklüğüne yol açacaktır. Bu kapsamda santrallerin yangın risklerine göre en kapsamlı şekilde önlemlerini alması gerektiği açıktır.

Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme Sistemleri ve Pervane Sistemleri

İnsanlar, doğadaki sert koşullardan olumsuz etkilenmemek, barınma ve diğer temel ihtiyaçlarını gidermek ve konfor koşullarına ulaşmak amacıyla yapı üretmeye başlamıştır. İlkel yaşamda bile duyulan bu gereksinimler yapıların ve yapı tasarımlarının en temel

özelliklerinden olmaktadır. Bu doğrultuda yapılarda iç ortam hava kalitesinin ve termal konfor koşulların sağlanması amacıyla HVAC sistemleri ortaya çıkmıştır.

HVAC(ing :Heating, Ventilation, Air Conditioning) Türkçe de ısıtma, havalandırma, klima sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Yapılı çevre de insanların temel konfor koşullarını oluşturan bu sistemler, kapalı bir alandaki havanın sıcaklığı, nemini ve hava temizliğini kontrol etme amacıyla üretilen ve kullanılmakta olan tüm cihazları kapsar. Bu kapsamda kullanılan makine ya da cihazlar küçük ölçekli mekanlarda birbirinden bağımsız, tekil görevler üstlenirken, yapı ölçeğinin büyümesi ve gereksinimlerin artışı veya özelleşmesi halinde merkezi olarak bulundurulabilir ve bu doğrultuda farklı özellikleri de bünyesinde barındırabilir. (Özcan, 2019) Bu geliştirilmiş olan sistemler ise bina otomasyonu adını almaktadır. Isıtma, havalandırma, iklimlendirme haricinde elektrik, aydınlatma, gölgeleme, erişim kontrolü, güvenlik sistemleri ve bina yönetim sistemi, yangın güvenlik sistemi vb. birçok sistemi içinde barındırabilmektedir.

Isıtma sistemlerindeki amaç ısıl konfor oluşturmaktır. Isıl konfor; temelde ortam sıcaklığının optimum düzeyde olmasıdır bunun yanında kullanıcı aktivite düzeyleri, ortamdaki nem, havanın hızı ve ışınım sıcaklığı da konforu belirlemede etkili olur. Havalandırma sistemleri, hava kalitesini korumak amacıyla kullanılmaktadır. İç ortam hava kalitesi; kullanıcı sayısı, mekân boyutları, kullanıcı aktivite düzeyleri, ortamdaki CO2 düzeyleri, CO2 in dış ortama atılma, temiz hava düzeyine, negatif iyon konsantrasyonuna bağlıdır.

HVAC sistemler, kurulumundan yapının ömrünü tamamlamasına kadar geçen süreçte devamlı enerji harcayacak olması sebebiyle enerji verimliliği ve çevresel nedenlerden ötürü önem taşımaktadır. Yapının ve kullanıcıların istek ve ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanması gerekmektedir. Sürdürülebilirlik kapsamında HVAC sistemlerinin tasarlanması, sertifika sistemlerinde geçen koşullara bakıldığında,

- Güncel standartlara göre harcayacağı enerjiden belli bir oranda daha az enerji harcaması (CO2 salınımı, yıllık kWh harcaması vb.),
- Temel soğutucu akışkan seçimi yapılırken kullanılan gazların ozon tabasına zarar vermeyenlerden seçilmesi,

- Enerji optimizasyonu,
- Karbon salınımımın sıfırlama gibi kriterlere sahiptir. (Ünlü, 2010)

Bu maddelerden bir kısmı yukarıda bahsedilen yapıya uygun sistem tasarımı ve kullanılmasına direkt olarak bağlı olmakla birlikte yapılarda kurulum maliyetlerinin yüksekliği her yapıda sağlanamayabilir.

Fakat ozon tabakasını inceltme potansiyeli (ODP: ozone depleting potential) ve küresel ısınma potansiyeli (GWP) yüksek olan soğutucu akışkanların hava tabakasında önemli hasarlara sebep olduğu bilinmektedir. CFC(Kloroflorokarbon) gazları zararlı olması ve yüksek yanıcılık etkileri sebebiyle yerini daha çok HCFC(Hidrokloroflorokarbon) gazlarına bırakmıştır. Fakat gazlar kendi içerisinde çok fazla çeşitlenmektedir. Doğal enerji verimliliği sebebiyle hidrokarbonlar bütan (R600), isobütan(R600a), propan (R290), propilen (1270), etan (R170) ve etilen (R1150) gazlarına pozitif bakılmaktadır. Fakat yüksek ısı transferi, yanıcı, parlayıcı ve kokusuz olması yangın önlemlerini azaltacak şekilde tasarlansa bile yangın risklerini arttırdığı gerçeğini değiştirmemektedir. (Demirci ve ark., 2020)

Amonyak gazı ve diğer yeni soğutucuların karakteristik özellikleri yapı özelinde müdahale yöntemlerini etkileyecektir. Amonyak gazı sızıntısı olan bir yapı da üst düzey kişisel korunma önlemleri alınması gerekmektedir. Ayrıca amonyak gazının nadirde olsa patlamalara sebep olduğu bilinmektedir bu yüzden gerek bahsi geçen gazların müdahale ekipleri tarafından bilinmesi gerekmektedir. (Tidwell ve Murphy, 2010)

Pervane Sistemleri, basit bir mekanizmayla iklimlendirme sistemlerine duyulan ihtiyacı azaltmaya yönelik tasarımlardır. Az miktarda güç harcayan bir motorla dönüş hızı kuvvetlendirilebilir. Temelde, pervanenin dönerek hava akışını hızlandırması bu şekilde de hava akımını hızlandırarak soğutmayı sağlamaktadır. Enerjinin korunumu ve kullanıcı konforu açısından olumlu etkilere sahiptir. Hem sıcak hem soğuk havada kullanılabilirler. Ticari, endüstriyel, tarımsal yapılarda kullanıldığı gözlenmektedir.

Pervaneler yangın açısından değerlendirildiğinde; hava akışını ve sirkülasyonu arttırması oksijenin ve sıcaklığın mekân içerisinde yayılma hızını da arttıracaktır. Olası

yangınların yayılma hızlarında artışa sebep olabilir. Yapılarda kurulu yağmurlama sistemini yangın anında çalışma etkisini tavanda kurulu olduğu için etkileyebilir. Bu zararlı etkilerle karşılaşılmaması için yangın anında pervane sistemi duracak şekilde tasarlanmalıdır. Yağmurlama sistemi ile pervanenin çalıştığı alan arasında boşluk bırakılmalıdır.

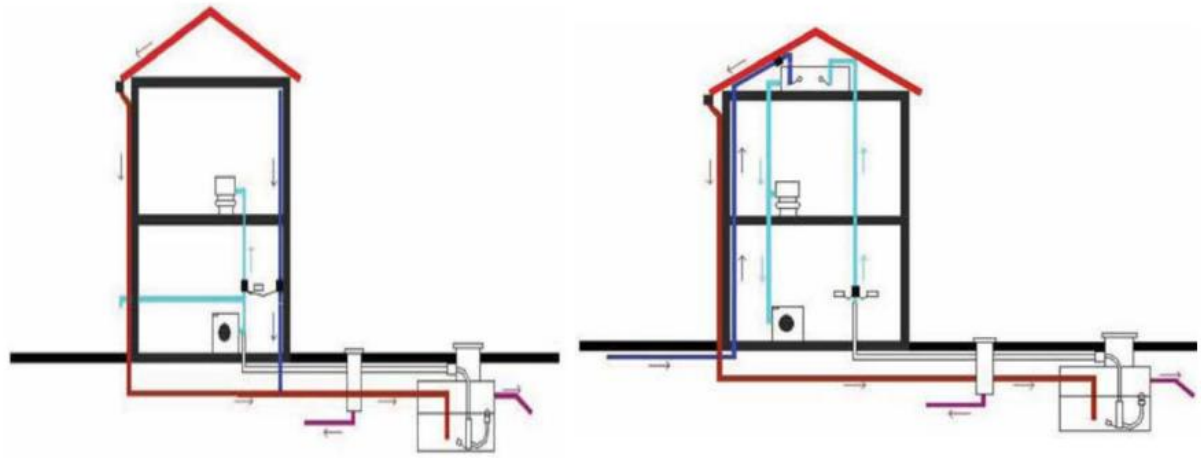
Su Depolama ve Dönüştürme Sistemleri

Yapı sektörü, günümüzde doğadan elde edilen ham maddenin, küresel enerjinin ve suyun tüketilmesine ve atık madde oluşmasına sebep olmaktadır. (Sev, 2009) Yapılarda doğal kaynakları tüketirken, hava ve su kalitesinin etkileyerek iklim değişikliklerine neden olabilmektedir. (vysal 2014) Bu doğrultuda ortaya çıkan sürdürülebilirlik ve enerji etkinliği kavramları temelde belirli konuları inceler. Konuda geçen ana başlıklardan birisi su'dur. Dünyada hızlı nüfus artışı kaynaklarında hızla tüketilmesine sebep olmaktadır. DSİ Genel Müdürlüğü verilerine göre ülkemizde yıllar içinde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının giderek düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 2.7. Kişi başına düşen yıllık su miktarının yıllara göre değişimi

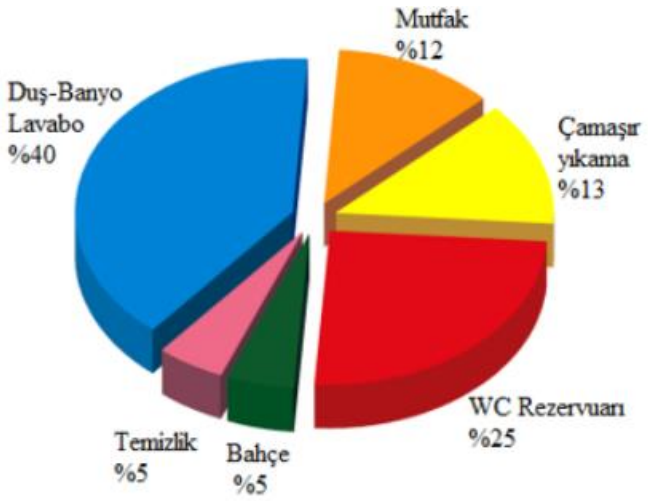


Suyun verimli kullanılabilmesi, gereksiz kullanımının önlenmesi, su kirliliğinin azaltılması vb. önlemlerle sağlanabilir. Bu doğrultuda kullanıcıların bilinçlenmesi ve çeşitli sistemlerin kullanımı doğrultusunda sağlanabilmektedir. Yapılarda Sürdürülebilirlik kapsamında suyun verimli kullanılması adına yapılarda yağmur toplama sistemleri ve gri su sistemleri üretilmiştir. Yağmur suyu toplama sistemleri, geleneksel yapılarda ve tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan basit fakat etkili sistemlerdir. Yağışlı dönemlerde biriken yağmur sularının toplanarak, peyzaj sulama ve önemli arıtma gerektirmeyen alanlarda kullanıldığı sistemlerdir. Bu uygulama için Sarnıç sistemi ve gelişmiş yağmur suyu toplama sistemleri kurulmaktadır. Sarnıçlar tarihi yapılarda ya da geleneksel yapılarda görebileceğimiz daha ilkel sistemlerdir. Yağmur suları sarnıç adı verilen depolarda toplanır. Bunlar genellikle yere gömülü ve su sızdırmayacak şekilde yapılır. Çatı, teras ve beton zeminlerden elde edilen sular filtreden geçerek sarnıca verilir. Gelişmiş yağmur suyu toplama sistemlerinde ise, yüzeyden su toplama, filtreleme sistemleri, modüler yapıdaki sistemler bulunmaktadır. Yağmur suyunun ayrı bir tesisatta konut içine taşındığı (çiftli sistem), şebekenin yağmur suyu tesisatını beslediği (tekli sistem) gibi türleri bulunmaktadır. Sistemler, bölgenin iklim verileri ve ihtiyaca göre çeşitlenmiştir. Deponun çatıda oluşu ya da toprakta gömülü olmasına sistemin düzenlenme şeklinde bağlıdır. (Tanık, 2017)



Şekil 2.21. Şebeke suyu ile yağmur suyu tesisatının bina içerisinde (çatı arasında) bir depoda birleştirilmesi (Yerçekimi sistemi ya da çatı deposu sistemi ile dağıtım) (Tanık, 2017)

Çizelge 2.8. Günlük evsel su tüketim oranları (Karahan, 2011)



Gri su, kullanılmış fakat kirlilik seviyesi daha düşük olan sulardır. Evsel atık sular temelde gri su ve siyah su olarak iki farklı şekilde değerlendirilmektedir. Çamaşır, bulaşık makinelerinden çıkan sular, banyo, lavabo, duş alanlarından çıkan sular gri su olarak kabul edilirken; tuvalet suları siyah su kabul edilmektedir. Bu sularda artıma işlemi yapılarak kullanılan ve arıtma işlemi yapılmaksızın kullanılan tipler mevcuttur. Arıtma tipleri de kendi içinde çeşitlere ayrılmıştır. Bu sebepten her sistemin kendi içinde kullanım yüzdesi, yeri ve gereklilikleri değişecektir. (Üstün ve Tırpancı, 2015)

Su depolama dönüştürme sistemlerinde yangın riskleri;

- Yağmur suyu toplama sistemleri ve gri su toplama arıtma sistemlerinin özellikle yapılarda tasarım aşamasında değil, sonradan yapılması halinde ve yapı içerisinde konumlandırılması halinde (çatılar vb.) oluşturacağı noktasal yüklerin statik açıdan dikkate alınması gereklidir. Olası bir yangında taşıyıcı sistemin zayıflamasıyla ani çökmeler meydana gelebilir.
- Kullanılan su depolarının yanıcı özelliklerine yapının yangın riskine göre dikkat edilmeli, plastik türevi yanıcı özelliği yüksek malzemeler tercih edilmemelidir.
- Atık suların değerlendirilmesiyle oluşan geri dönüşümlü sular, kullanım yeri ve arıtma şekline bağlı olarak farklı kimyasallar ve biyolojik atıklar açığa çıkarmaktadır. Bu sular, yangın söndürme de kullanılmamalıdır. (Tidwell ve Murphy, 2010)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapı, üretim ve kullanım süreci boyunca dış etmenlere dayanıklı olacak şekilde tasarlanır. Isı, su, ses ve yangın yalıtımları bu koşulları sağlamak amacıyla tasarım süreçlerinde planlanarak uygulanır. Yangın, etkisini çok kısa sürede göstererek yapısal hasara neden olması ve insan sağlığını tehlikeye atması sebebiyle diğer faktörlerden ayrılır. Yapılarda yangın risklerinin tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması, can ve mal güvenliğinin sağlanmasında önemli rol oynar. Yapılarda yangın güvenliğinin sağlanması için gerekli maddeler yönetmeliğimizde açıkça belirlenmiş olup, yapı genelinde gerekli önlemler alınmaktadır. Fakat sürdürülebilir yapı kavramıyla birlikte ortaya çıkan yapı tasarım özellikleri, kullanılan malzemeler ve alternatif enerji kaynaklarından doğabilecek yangın riskleriyle ilgili yönetmeliğimize herhangi bir madde henüz eklenmemiştir ve bu alanda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Tez kapsamında, literatür taraması yapılarak yangın risk faktörü oluşturacağı öngörülen sürdürülebilirlik uygulamaları belirlenmiştir. Bu doğrultuda Marmara Bölgesinde bulunan sürdürülebilir yapı sertifikasına sahip 11 yapı yerinde incelenerek enerji etkinliğinde rol oynayan uygulamalar değerlendirilmiştir. Araştırmanın güvenilirliğini sağlamak amacıyla yapıların her biri farklı kullanım sınıflarına ve yapı özelliklerine sahip olacak şekilde belirlenmiştir. İncelenen yapılara ait özellikler ise şu şekildedir;

Çizelge 3.1. İbadethane ’ye ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	İbadethane
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Gold
Yapı Yaklaşık m²	8000 m²
Kat Adedi	2 normal kat, 1 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	6200 kişi

Çizelge 3.2. Tekstil fabrikasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Tekstil Fabrikası
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Silver
Yapı Yaklaşık m²	15.000 m²

Kat Adedi	4 normal kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	200 kişi

Çizelge 3.3. Alışveriş merkezine ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Alışveriş Merkezi
Yeşil Bina Sertifikası	Breeam In-Use
Yapı Yaklaşık m²	84.000 m²
Kat Adedi	2 normal kat, 1 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	10.000 kişi

Çizelge 3.4. Kamu binasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Kamu Binası
Yeşil Bina Sertifikası	Breeam In-Use
Yapı Yaklaşık m²	45.000 m²
Kat Adedi	5 normal kat, 2 bodrum kat 10 normal kat,2 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	8.000 kişi

Çizelge 3.5. Hastane ’ye ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Hastane
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Gold
Yapı Yaklaşık m²	470.000 m²
Kat Adedi	8 normal kat, 3 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	10.000 kişi

Çizelge 3.6. Ofis Binasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Ofis Binası (Yüksek Yapı)
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Platinum

Yapı Yaklaşık m²	62.000 m²
Kat Adedi	21 normal kat, 7 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	6.000 kişi

Çizelge 3.7. Terminal binasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Terminal Binası
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Platinum
Yapı Yaklaşık m²	4800 m²
Kat Adedi	1 normal kat, 1 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	1000 kişi

Çizelge 3.8. Kongre merkezine ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Kongre Merkezi
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Gold
Yapı Yaklaşık m²	12.000 m²
Kat Adedi	2 normal kat, 1 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	1500 kişi

Çizelge 3.9. Malzeme fabrikasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Malzeme Fabrikası
Yeşil Bina Sertifikası	Breeam New Construction
Yapı Yaklaşık m²	16.000 m²
Kat Adedi	1 normal kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	500 kişi

Çizelge 3.10. Ofis binasına ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Ofis Binası
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Platinum
Yapı Yaklaşık m²	9.500 m²

Kat Adedi	7 normal kat, 3 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	2.000 kişi

Çizelge 3.11. Teknoloji Merkezine ait yapı künyesi

Kullanım Amacı	Teknoloji Merkezi
Yeşil Bina Sertifikası	Leed Platinum
Yapı Yaklaşık m²	19.600 m²
Kat Adedi	5 normal kat, 3 bodrum kat
Ortalama Kullanıcı Sayısı	4.000 kişi

Yukarıda yapı künyelerinde kullanım amacı, sertifikaları, yapı yaklaşık m²'si, kat adetleri ve ortalama kullanıcı sayısı verilen büyük ölçekli, kullanıcı sayısı fazla olan ve birbirinden farklı fonksiyonları bulunan yeşil bina sertifikasına sahip yapılar sürdürülebilirlik kapsamındaki uygulamaları doğrultusunda incelenmiştir. Bu yapılara ait veriler toplanarak, L tipi matris diyagramı kullanılarak yangın risk analizi yapılmıştır. Sürdürülebilirlik uygulamaları ve beraberinde alınan yangın güvenlik önlemleri incelenerek yangın risklerinin önlem öncesi ve sonrası değerlendirilmesi yapılmıştır.

Problemin tanımlanması; tez kapsamında, yapılarda sürdürülebilirlik uygulamaları incelenmiştir. Bu uygulamalara bağlı yangın risk faktörlerinin belirlenmesinde NFPA tarafından desteklenen ve 2020 de yayınlanan Fire Safety Challenges of 'Green' Buildings and Attributes kitapçığı ve NASFM tarafından yayınlanan Bridging the Gap : Fire Safety and Green Buildings çalışmasından yararlanılmıştır. Belirlenen risk faktörlerine karşın yapılarda alınması gerekli önlemler literatür taraması yoluyla belirlenmiştir. Sonrasında bu veriler toplanarak 7 ana başlıkta tablolar oluşturulmuştur.

Verilerin toplanması; Türkiye genelindeki sürdürülebilir yapılar Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından oluşturulan sertifikalı projeler listesinden LEED veya BREEAM sertifikalarına sahip yapılar belirlenmiştir. Bu yapıların her biri ölçeği, konumu, kullanım amacı, yapım yılı gibi özellikleriyle birbirinden ayrılmaktadır. Yapı tiplerine bakıldığında aralarında Kamu Binası, Teknoloji Merkezi, Tekstil Fabrikası, Ofis Yapısı, Hastane, Alışveriş Merkezi, Terminal Binası, Kongre Merkezi, Camii, Yapı

Malzeme Fabrikası, Yüksek Yapı bulunmaktadır. Farklı karakteristik özelliklere sahip bu yapılarda aynı sürdürülebilirlik uygulamalarının yangın risk faktörlerinin değerlendirilmesi analizin daha güvenilir sonuçlar vermesi amacıyla seçilmiştir. Belirlenen yapılardan 11 farklı yapı yerinde incelenmiş, fotoğraflanmıştır. Her bir yapıda, teknik sorumlular ile görüşmeler yapılarak yapı hakkında bilgi edinilmiştir. Bunun yanı sıra yapıya ait mimari proje, acil durum planları gibi tezde kullanılabilecek ilgili veriler mevcut olan yapılarda toplanmıştır.

Verilerin analizi ve değerlendirilmesi; toplanan veriler öncelikle ekte örneği verilen yapı tespit formuna her bir yapı için ayrı olacak şekilde işlenmiştir. Formlarda yapı tasarım özellikleri, donatı malzemeleri, alan seçimi ve kullanımı, sistem elemanları ve katmanları, cephe özellikleri, çatı elemanları ve katmanları, alternatif enerji sistemleri ve yangın güvenlik önlemleri olmak üzere 8 ana başlıkta toplam 44 madde bulunmaktadır. Bu maddeler ile yapılan uygulamalar, kullanılan sistemler belirlenmiştir. Sonrasında yapı özelliği ve sistemlerin oluşturduğu yangın risklerine ait risk analizi tablosu L matris diyagramı kullanılarak değerlendirilerek sistemlere ait yangın risklerinin sayısal tespiti elde edilmiştir. Ekte örneği verilen yangın risk analizi tablosunda da görüleceği üzere;

- Yapı tasarım özelliklerine ait 7 uygulama da toplam 12 farklı risk,
- Donatı malzemelerinde 1 uygulamaya ait 3 farklı risk,
- Alan seçimi ve yerleşimine ait 8 ayrı özellik için 10 risk,
- Yapı elemanları ve katmanlarına ait 5 başlıkta 5 risk,
- Cephe özelliklerine ait 8 başlıkta 13 risk,
- Çatı elemanları ve katmanlarına ait 5 başlıkta 6 risk,
- Alternatif enerji sistemlerine ait 8 ayrı uygulama da toplam 13 farklı risk incelemesi yapılmıştır.

7 ana başlıkta belirlenen 62 risk yapılarda değerlendirilirken mevcut olmayan uygulamalar risk faktörü oluşturmadığından analiz tablolarından çıkarılmış olup 56 risk üzerinden sonuçlar elde edilmiştir. Malzeme çeşitliliği olması halinde ise aynı riske ait birden fazla değer elde edilmiştir. Dolayısıyla yapılara ait risk değerleri her bir yapı için farklılık göstermiştir. Elde edilen değerler sürdürülebilirlik uygulamasının kendi başına oluşturduğu risk ve alınan yangın önlemleri ile birlikte

olan yangın riski (önlem öncesi/önlem sonrası) olarak L Tipi Matris Diyagramı ile değerlendirilmiştir. Bu şekilde sürdürülebilir yapılarda yangın riskleri ve yangın güvenlik sistemlerinin bu uygulamalara olan etkisinin sayısal verilerle tespiti yapılması amaçlanmıştır.

Çizelge 3.12. Tez akış şeması



L Tipi (5x5) Matris Diyagramı; yangın risk analizi, yapının ölçeği, kullanım amacı, tehlike sınıfı, yapısal özellikleri, konumu, acil durum planları, mevcut yangın güvenlik önlemleri göz önünde bulundurularak yapı özelinde risklerin belirlenmesini sağlayan analizdir. Risk analizinde kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Risk değerlendirme karar matrisi, en sık kullanılan sistemlerden biridir. ABD 'de askeri standardı MIL_STD_882-D olarak bilinen bu sistem, güvenlik ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla geliştirilmiştir. (Özkılıç, 2005) İki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkinin analizinde kullanılmaktadır. Sonucunda sayısal değerlere ulaşılması sebebiyle nitel bir değerlendirme aracı kabul edilmektedir. L Tipi (5x5) Matris diyagramı ve X Tipi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tez çalışmasında sebep-sonuç ilişkisini değerlendirmeye yönelik bir yöntem ihtiyacı bulunduğundan L Tipi (5x5) Matris diyagramı seçilmiştir. Bu metotta olayın gerçekleşme ihtimali ve gerçekleştiğinde ortaya çıkardığı zarar birer bileşen olarak değerlendirilirken çarpımları sonucu risk skoru elde edilir.

Risk skoru = Olasılık x Şiddet formülü ile verilere ulaşılmaktadır. Elde edilen risk skoru ile gözlenen risklerin önem derecesi tespit edilerek en yüksek risklerden başlanarak gerekli önlemler alınmaktadır.

Yapılarda belirlenen risk faktörlerine ait skorların oluşturulmasında aşağıdaki tablolar kullanılmıştır. Yangın olayının meydana gelme ihtimalinin sayısal değer karşılığı 1-5 arasındaki puanlama ile belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. Olasılık skoru derecelendirmesi

OLASILIK DEĞERLERİ		
5	**Çok yüksek**	**Haftada bir / Her gün** (oluşması bekleniyor, kontrol sistemi yok)
4	**Yüksek**	**Ayda bir** (oluşması mümkün, kontrol edilebileceği kesin değil / kontroller sınırlı ve yetersiz)
3	**Orta**	**Yılda bir veya iki kez** (oluşması mümkün ama beklenmiyor, kontrol edilememesi çok küçük olasılık)
2	**Düşük**	**Birkaç yılda bir** (olasılığın ortadan kaldırıldığı düşünülüyor, kontrol sistemi mevcut)
1	**Çok Düşük**	**Hemen hemen hiç** (oluşması beklenmiyor, yeterli kontrol sağlandı)

Belirlenen risk faktörünün meydana gelmesi halinde maruz kalan insanlarda yaratacağı tahmini zararın sayısal değer karşılığı 1-5 arasındaki puanlama ile belirlenmiştir.

Çizelge 3.14. Şiddet skoru derecelendirmesi

ETKİ DEĞERLERİ		
5	**Çok ciddi**	Ölüm
4	**Ciddi**	Ciddi yaralanma, uzuv kaybı, Meslek Hastalığı, sürekli iş göremezlik
3	**Orta**	Tedavi gerektiren yaralanmalar, yatarak tedavi, kısa süreli iş göremezlik
2	**Hafif**	İlk yardım gerektiren yaralanmalar, ayakta tedavi, kısa süreli iş göremezlik
1	**Çok hafif**	İş kaybı olmayan, İlk yardım gerektirmeyen durumlar

Belirlenen risk faktörünün olasılık ve şiddet skoru değerlerinin çarpılmasıyla elde edilen 5x5 L Tipi Skor Matrisi aşağıdaki üzeredir. Çarpanların oluşturduğu risk skorunun Önemsiz, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek, Katlanılamaz şeklinde altı ayrı sonuç değerine ulaşılmaktadır.

Çizelge 3.15. L tipi skor matrisi

	ETKİ (ŞİDDET)				
OLASILIK	**1 (Çok Hafif)**	**2 (Hafif)**	**3 (Orta)**	**4 (Ciddi)**	**5 (Çok Ciddi)**
1 (Çok düşük)	1 Önemsiz	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Orta
2 (Düşük)	2 Düşük	4 Düşük	6 Orta	8 Orta	10 Yüksek
3 (Orta)	3 Düşük	6 Orta	9 Orta	12 Yüksek	15 Yüksek
4 (Yüksek)	4 Düşük	8 Orta	12 Yüksek	16 Çok Yüksek	20 Çok Yüksek
5 (Çok Yüksek)	5 Orta	10 Yüksek	15 Yüksek	20 Çok Yüksek	25 Katlanılamaz

Belirlenen risk faktörlerinin matris yöntemi ile değerlendirilmesi sonucu önem derecesinin tespiti yapılmaktadır. I. Önem derecesine sahip kırmızı grupta 16-25 skor aralığında değerler bulunmaktadır. Olayın gerçekleşme olasılığı ve gerçekleştiğinde meydana gelecek zararın en fazla olduğu gruptur. II. Önem derecesine sahip sarı grupta 10-15 skor aralığında sonuçlar bulunmaktadır. Kırmızı gruptaki risklerin önlemleri alındıktan sonra ilk önlem alınması gereken risk faktörleri bu gruptadır. III. Önem derecesine sahip mavi grupta 5-9 skor aralığında değerlere ulaşılmaktadır. Dikkate değer risk grubunda olup gerekli önlemlerin alınması gereklidir. IV. Önem derecesine sahip yeşil grupta 1-4 skor aralığında değerler bulunup, olasılık ya da şiddet değerleri düşük çarpanlara sahiptirler. Dört grup içerisinde en az riskli olan grup kabul edilebilir risk grubu olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 3.16. Risk skoru derecelendirmesi

SKOR	EYLEM	ÖNEM DERECESİ
16,20,25	**KABUL EDİLEMEZ RİSK** Bu risklerle ilgili hemen çalışma yapılmalı	I
15,12,10	**KAYDA DEĞER ÖNEMLİ RİSK** Bu risklere mümkün olduğu kadar çabuk müdahale edilmeli	II
5,6,8,9	**DİKKATE DEĞER RİSK** Bu risklere kontrol tedbirleri geliştirmeli ve planlama yapılmalı	III
1,2,3,4	**KABUL EDİLEBİLİR RİSK** Acil tedbir gerektirmeyen riskler	IV

Skor matrisinde Katlanılamaz ve Çok Yüksek risk oluşturan kırmızı grup yüksek öneme sahip olduğundan aynı risk grubuna dahil edilmiştir. Yüksek risk skoruna sahip olan faktörler kayda değer önemli risklerde yer alırken, Orta risk skorundaki mavi grup dikkate değer risk olarak incelenmektedir. Düşük ve önemsiz riskler kabul edilebilir risk grubu olan yeşil grupta bir arada yer almaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında Marmara Bölgesi'nde bulunan sürdürülebilirlik sertifikasına sahip 11 yapı incelenmiştir. Bu yapılardan üç tanesi LEED Platin, dört tanesi LEED Altın, bir tanesi LEED Silver, bir tanesi BREEAM New Construction, iki tanesi BREEAM In-Use sertifikasına sahiptir. LEED ve BREEAM sertifikalarının puanlama sistemi farklı olsa da 11 yapının 9 tanesi sertifikalarını yapı tasarımından alması sebebiyle benzer seçimler gözlenmektedir. Kullanıma bağlı yeşil bina sertifikası alan diğer iki yapı ise alternatif enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanılması ve sonradan eklenen bazı uygulamalar sayesinde diğer yapılarla kıyaslanabilir özelliklere sahip hale getirilmiştir. Bahsedilen 11 yapının, yapım yılları 2002-2022 aralığında değişmektedir. Yapıların iki tanesi 2000 yılı sonrası, beş tanesi 2010 yılı sonrası, üç tanesi 2020 yılı sonrasında yapımı tamamlanarak faaliyete geçirilmiştir. Kullanım tiplerine bakıldığında ise yapılar; iki fabrika yapısı, bir ofis yapısı, bir kongre merkezi, bir hastane, bir alışveriş merkezi, bir kamu binası, bir terminal binası, bir teknoloji merkezi, bir yüksek yapı, bir ibadet yapısından meydana gelmektedir. Kullanım tipi, yapım yılı, sertifika sınıfı farklı olan bu yapılardaki çeşitliliğin, mevcut sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamındaki yangın risk analizini daha doğru sonuçlara ulaştıracağı öngörülmektedir.

4.1.Sürdürülebilir Yapılarda Yangın Riskleri

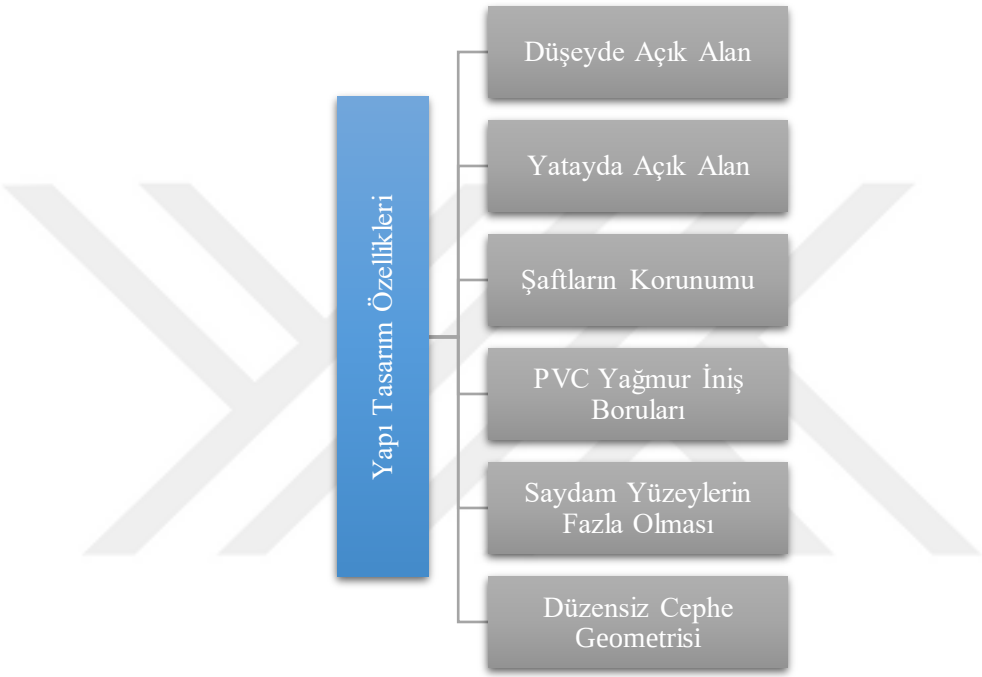
Yapılarda sürdürülebilirlik uygulamaları ve bu kapsamda oluşabilecek riskler yapılar üzerinde değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi yoluyla elde edilen verilere göre yangın riskinde etki edebilecek 42 sürdürülebilirlik uygulaması ve bu doğrultuda ortaya çıkan 56 yangın risk faktörü tespit edilmiştir. Bu risk faktörleri konusuna göre 7 ayrı başlık altında incelenmiştir. Bu başlıklar ise çizelge 'de verildiği üzeredir;



Şekil 4.1. Sürdürülebilir yapılarda yangın risklerine ait konu başlıkları

4.1.1.Yapı Tasarım Özellikleri

Yapıların tasarım sürecinde enerjinin etkinliğinin sağlanmasına yönelik çeşitli tasarım kararları alınmaktadır. Bu kararlar yapının kullanım ömrü boyunca enerjinin verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Fakat bunlardan bazıları olası bir yangında yangının başlaması, yangının hızla yayılması gibi durumlara sebep olmaktadır. 7 farklı uygulama değerlendirilmiştir. Bu başlıklar ise aşağıda verildiği gibidir;



Şekil 4.2. Yapı tasarım özelliklerine ait alt başlıklar

Yapı tasarım özelliklerine dahil olan 6 konu başlığında sistemin oluşturduğu tehlike, bu tehlikenin oluşturduğu yangın riskleri belirlenmiştir. Olası bir yangında insanlara ve diğer canlılara vereceği zararlar saptanmıştır. Sonrasında yapılar üzerinde olayın meydana gelme olasılığı ve meydana geldiğinde vereceği zarar şiddet değeri olarak çarpılarak risk skoru elde edilmiştir. Yapılar değerlendirilirken öncelikle sistemin tek başına vereceği zararın risk skoru daha sonra yapıdaki mevcut önlemlerle birlikte risk skoru hesaplanmıştır. Bu başlık altında 6 sistemin oluşturduğu 12 ayrı risk faktörü binalar özelinde değerlendirilmiştir. Bu risk skorlarına ait tablo aşağıda verildiği üzeredir;

Çizelge 4.1. İncelenen Yapıların Tasarım Özelliklerine Ait Yangın Risk Skor Tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Terminal Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzeme Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
Düşeyde Açık Alan	15	10	8	4	20	10	15	5	15	5	15	5	20	5	12	4	15	5	15	10	20	10
Yatayda Açık Alan	12	8	15	10	20	10	20	10	15	5	15	5	20	5	12	4	15	5	15	5	10	5
Şaftların Korunumu	b	b	1	1	15	5	12	4	12	4	8	4	1	1	b	b	1	1	b	b	20	10
Şaftların Korunumu	b	b	1	1	15	5	8	4	15	5	1	1	1	1	b	b	1	1	b	b	9	3
Şaftların Korunumu	1	1	12	8	8	4	1	1	1	1	X	X	8	4	10	10	8	4	b	b	1	1
PVC Yağmur İniş Boruları	X	X	8	4	15	10	X	X	10	5	X	X	10	5	12	4	X	X	b	b	X	X
Saydam Yüzeylerin Fazla Olması	8	4	3	3	3	3	12	8	8	4	8	4	3	3	8	4	1	1	15	10	12	8
Saydam Yüzeylerin Fazla Olması	1	1	3	3	3	3	8	4	8	4	1	1	3	3	1	1	1	1	8	4	8	4
Saydam Yüzeylerin Fazla Olması	1	1	3	3	3	3	8	4	8	4	8	8	3	3	10	10	1	1	15	15	8	8
Pasif Soğutma	X	X	8	4	20	10	12	4	X	X	X	X	X	X	3	3	15	5	X	X	X	X
Pasif Soğutma	X	X	4	4	20	10	12	4	X	X	X	X	X	X	3	3	15	5	X	X	X	X
Düzensiz Cephe Geometrisi	6	3	1	1	6	6	8	4	1	1	1	1	6	6	8	8	1	1	15	15	1	1

- **Düşeyde Açık Alan:**

Yapılarda mekanların ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılması, güneş enerjisinden ve ışığından maksimum fayda sağlamak gibi sebepler ile atriumlar, galeri boşlukları yapı tasarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kapalı bir hacimde başlayan yangın, alevlerin ve dumanın yükselmesiyle döşemeye ulaşarak birikmeye başlar fakat bu tip tasarımlarda döşeme engel olmaktan çıkarak duman ve alevler hızla yükselecek, baca görevi görecektir. Yaygın uygulama alanına sahip bu tasarımlarda beraberinde yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra duman tahliye kapağı, emici tipte fanlar gibi mekanının gerekliliklerine uygun duman tahliye sistemleri kullanılmalıdır. Bu uygulamanın oluşturduğu tehlike hava sirkülasyonun fazla olması, riski duman ve alevlerin yayılması, meydana geldiğinde insanlar açısından meydana getirdiği zarar yaralanma ve ölüm olacaktır. Alınması gerekli önlemlerde tablo da belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Düşeyde Açık Alan Örneği

Çizelge 4.2. Düşeyde açık alana ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Düşeyde açık alan	Hava sirkülasyonu fazla olması	Duman alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Yağmurlama sistemi, Duman tahliye kapağı, duman kontrol sistemleri, havalandırma fanları	

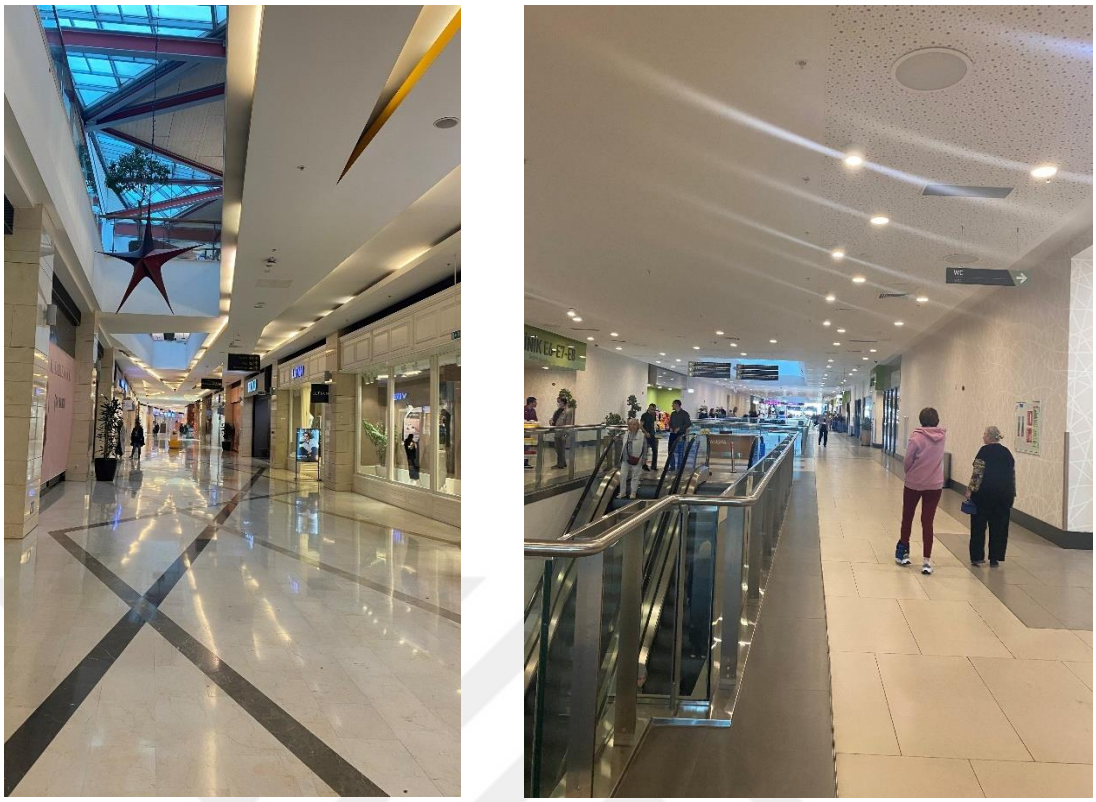
İncelenen 11 yapının hepsinde yapı tipi fark etmeksizin düşeyde açık alan kullanıldığı gözlenmiştir. Her bir yapı da düşey açıklık kullanımının oranı değişkenlik göstermesi sebebiyle oluşan ilk risk değerleri farklılaşmıştır. Genel olarak bakıldığında ise ilk risk skorunun %90'ından fazlası sarı ve kırmızı grupta yer aldığı ve yüksek risk taşıdığı görülmüştür. Yapılarda mevcut önlemler ile birlikte bu risklerin ikinci değerlerde genel olarak düştüğü gözlenmiştir. İkinci risk skorunda kırmızı grupta yer alan hiçbir yapı bulunmamıştır. Sarı grupta yer alan yapılar %90'dan %36 ya düşmüştür. %45 'ten fazlasının mavi gruba düştüğü gözlenmiştir. Bulgulardan yola çıkarak düşeyde açık alanın uygulamalarının yapılarda yangın riskini ciddi oranda arttırdığı, alınan önlemler ile risk seviyelerinin düşürüldüğü fakat yine de bu riskin mevcut olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

- **Yatayda Açık Alan:**

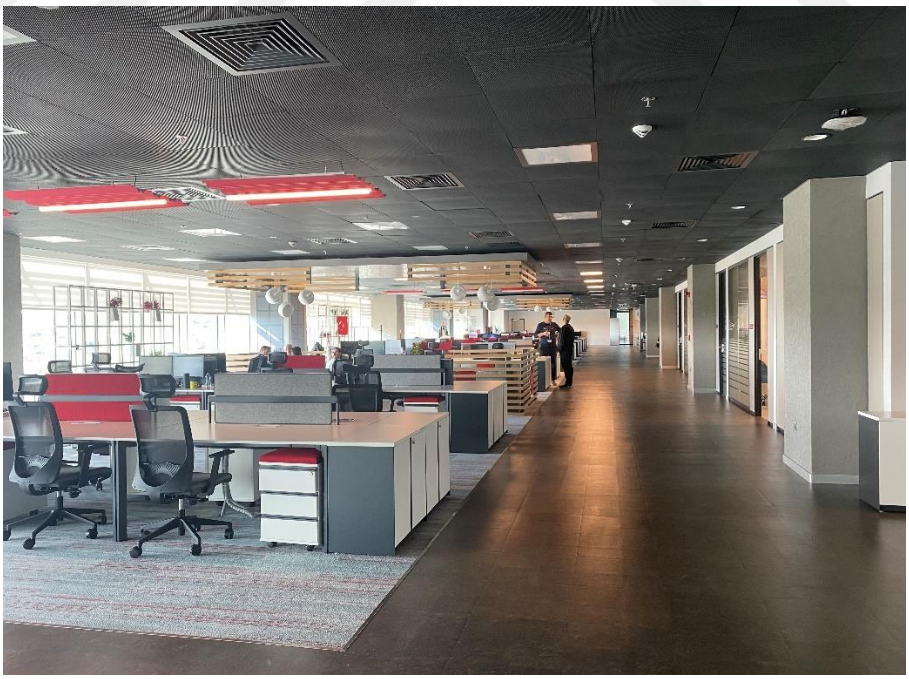
Büyük ölçekli ve kullanıcı sayısının fazla olduğu mekanlarda yatayda açıklıkların fazla olduğu tasarımlar sıklıkla kullanılmaktadır. Enerjinin verimli kullanılmasında, düşeyde açık alanlarda olduğu gibi ısıtma-soğutma yükleri, güneş enerjisinden daha fazla yarar sağlama görsel konfor gibi sebeplerle açık planlı tasarımlara yer verilmektedir. Açık ofis tasarımları ve sirkülasyon alanlarında yatayda geniş açıklıkların geçilmesi olası bir yangında mevcut bölümün yangın kompartımanı olarak bir bütün halde ve hızlı bir şekilde yanmasına sebep olur. Konunun tehlike, risk ve zararları düşeyde açık alan ile aynı olup, önlemleri çizelge de verildiği üzeredir.

Çizelge 4.3. Yatayda açık alana ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Yatayda açık alan	Hava sirkülasyonu fazla olması	Duman alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Duman perdesi, basınçlandırma sistemi, duman kontrol sistemleri, yağmurlama sistemi	



Şekil 4.4. Yatayda açık sirkülasyon alanları



Şekil 4.5. Yatayda açık ofis tasarım örneği

İncelenen 11 yapının tümünde yatayda açık alan oluşturacak bölümler olduğu saptanmıştır. Yatayda açık alanın, kattaki tüm alana oranı yapılar özelinde farklılık göstermekle birlikte çıkan ilk risk skorlarında %100'ünün sarı ve kırmızı grupta yer aldığı belirlenmiştir. Alınan önlemler doğrultusunda risk skoru hesaplandığında yapıların %72'sinde risk skorlarının düşerek mavi ve yeşil olan daha az tehlikeli gruba geçtiği gözlenmiştir. Fakat yapıların %28'inde önlemlerle bile risk skorları sarı grupta kalmaktadır. Dolayısıyla yapı tasarımlarının, yangın riskinde ciddi rol oynadığı ve her riskin yangın algılama-söndürme sistemleriyle ortadan kaldırılamadığı sonucuna erişilmiştir.

- **Şaftların korunumu:**

Şaftların korunumu başlığı altında yapılarda elektrik şaftları ve açıkta geçen elektrik kabloları incelenmiştir. Sürdürülebilir yapılarda güneş panelleri gibi bazı alternatif enerji sistemlerine ait elektrik kablolarının cephe ve çatılarda risk oluşturduğu kojenerasyon sistemlerinde üretilen elektriğin taşınması sırasında oluşabilecek riskler mevcuttur. Bunların yanı sıra yapılarda elektrik kontağından çıkan yangın sayısının yüksekliği sebebiyle risklerin yüksek olduğu bilinmektedir. Araştırma kapsamında yapıda kullanılan kabloları ayırmak mümkün olmadığından bu incelemede genel elektrik şaftlarına ve kablolara ait değerlendirme de yapılmıştır. Bu doğrultuda üç ayrı risk faktörü belirlenmiştir. İlk iki risk faktörü, elektrik şaftlarında kullanılan kablo tipleri ve şaft içi yalıtımların yeterlilik seviyesinin tespit edilmesi, üçüncü risk faktörü açıktan geçen elektrik kablolarına ait risklerin değerlendirilebilmesi maksadıyla oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4. Şaftların korunumuna ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Şaftların korunumu (elektrik)	Elektrik kablolarının tutuşması	Duman alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Halojensiz kabloların kullanılması, Bacaların dış ortam iletiminin kesilmesi, Şaft içi düşey/yatay bölümlendirme ve izolasyon	

Şaftların korunumu	Elektrik kablolarının tutuşması	Toksik madde açığa çıkması	Zehirlenme, Ölüm			Halojensiz kabloların kullanılması, Bacaların dış ortam iletiminin kesilmesi, şaftlarda algılama ve söndürme sistemleri kullanımı	
Şaftların korunumu	Elektrik kablolarının açıkta bulunması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Halojensiz kablo kullanılması, korunumlu şekilde bulundurulması, acil durumlarda sistemden elektrik geçişinin kesilmesi	

Elektrik kablolarından doğan ilk risk kablo tipi ve şaftlardaki yalıtımla doğrudan ilgili olup yapılardaki analizde yapı tipine göre %50 yüksek riskli kırmızı ve sarı grupta yer almaktadır. Seçilen kablo tipinin uygunluğu şaftlarda yangın yalıtımı ile bu risk skorunun %10 civarına düştüğü gözlenmektedir. Bu risklerinde eksik yangın yalıtımı sebebiyle olduğu görülmüştür. İkinci riskte kablo tipleriyle ilgili olup %25 oranda sarı grupta yer alan risk, uygun kablo seçimi ve şaftlarda önlemlerin alınması sebebiyle daha az riskli mavi grupta görülmüştür. Üçüncü risk değerlendirmesinde, %20 oranda görülen sarı gruba ait yüksek risklerin alternatif enerji kaynağı kullanımında kablo korunumunun sağlanmaması sebebiyle olduğu gözlenmiştir. İncelenen üç risk skorunda önlemlerin alınması halinde risklerin ortadan kalkacağı görülmüştür.

- **PVC Yağmur İniş Boruları:**

Yapıların çatılarında yağmur suyu birikmesini önlemek ve yağmur suyu hasadı yapmak amacıyla yağmur iniş boruları kullanılmaktadır. Borular çatıda belirli noktalardaki oluklardan başlayarak düşey aks boyunca ilerledikten sonra dış cepheden varsa yağmur hasadı deposuna ya da doğrudan açık alana ulaştırılır. Hafif, düşük maliyetli ve paslanmaya dayanıklı olması, ses yapmaması gibi sebeplerden yağmur iniş borularında PVC malzemelerin sıklıkla tercih edildiği bilinmektedir. Fakat yanıcılık özelliği olan PVC malzemelerin cephe boyunca aynı aksta ilerlemesi yapılarda yangın riski oluşturmaktadır. Bu sebeple, PVC malzeme kullanılacaksa yangına dayanımlı malzeme ile kapatılmalı ve cephede kullanımı sınırlandırılmalıdır.

Çizelge 4.5. Pvc yağmur iniş borularına ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
PVC yağmur iniş boruları	Cephede yağmur toplama sistem borularının açıkta bulunması	Alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Yangına dayanıklı malzeme ile kapatılmalı, Hacmi sınırlandırılmalı	



Şekil 4.6. Pik ve PVC yağmur iniş boruları

Tez kapsamında incelenen yapıların %50'sinde sifonik sistem veya pik, galvaniz gibi malzemeler tercih edildiğinden riskleri bulunmamaktadır. Geri kalan yapılarda oluşan risklerin %40'ında ilk risk skorunda sarı grupta yer alırken mevcut önlemlerle sarı gruptaki risklerin %10'a düştüğü gözlenmektedir. İncelenen yapıların genelinde PVC yağmur iniş borularının yalnızca kısa mesafelerde ve sifonik sisteme destek amacıyla kullanılması, dış cephe kaplamalarında yanıcı malzeme olmaması ve yakınında cam yüzeylerin bulunmaması gibi sebeplerden ortaya çıkan riskler azalmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda PVC yağmur iniş borularının yangın riskine etki ettiği, önlemlerle riskin düşürülebildiği görülmektedir.

- **Saydam Yüzeylerin Fazla Olması:**

Yapıların dış ortamla ilişkisinin belirlenmesinde yapı kabuğu büyük rol oynamaktadır. Sürdürülebilirlik kapsamında gün ışığından faydalanma ve ısıtma yüklerinin azaltılması amaçlanarak cephe ve çatılarda saydam yüzeylerin arttırılması hem enerji verimliliği hem de görsel konfor açısından sıklıkla tercih edilmektedir. Bu uygulamaların yangın riskini arttırdığı bilinmektedir. İnceleme kapsamında üç ayrı risk faktörü saptanmıştır. Bunlardan ilki güneş enerjisinin iç ortam sıcaklığını yükselterek olası bir yangında tutuşma sıcaklığına ulaşmayı kolaylaştırmasıdır. İkincisi yangına cepheden müdahale için ulaşıldığında ortamdaki oksijen artışının patlamalara sebebiyet vermesidir. Bir diğer risk ise saydam cephelerde ve açıklıklarda yangının yayılma hızının dolu yüzeylere göre çok daha hızlı olmasıdır.

Çizelge 4.6. Saydam yüzeylerin fazla olması ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Saydam yüzeylerin fazla olması	İç ortam ısısının yükselmesi	Alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Cepheye yakın yağmurlama sistemi	
Saydam yüzeylerin fazla olması	Müdahale anında iç ortam oksijen artışı	Basınç artışı dolayısıyla patlama (back-draft)	Yaralanma, ölüm				
Saydam yüzeylerin fazla olması	Alevlerin cephede hızla sıçraması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Geleneksel cephelerde katlar arası spandrel bulunmalı, Alev yönlendirici yapılmalı, Giydirme cephe boşluklu ise yangın kesici kullanımı	

İncelenen yapıların 4'ünde cephelerin %80 ve üzeri dolu yüzeye sahip olduğundan bu yapılarda risk düşük olacağından kabul edilebilir grupta yer almıştır. Yapıların diğer 4'ünde dolu yüzeyler %50 civarında olması sebebiyle mavi risk grubunda olup mevcut yangın güvenlik önlemleri sayesinde kabul edilebilir riske düştüğü gözlenmektedir. Geri kalan 3 yapıda yapının saydam yüzey oranlarının %50'den fazla olması sebebiyle sarı risk grubunda yer aldığı görülmektedir. Bu yapılarda alınan önlemlerle risklerin mavi

gruba düştüğü gözlenmektedir. Bu doğrultuda alınan önlemlerin risk skorunu düşürdüğü fakat tamamen riski ortadan kaldırmadığı görülmektedir. İkinci risk faktöründe yapıların %65'lik kısmında dış ortam müdahalesi olmadığından bu konuda risk oluşmadığı gözlenmiştir. %35'lik kısımda ilk aşamada mavi risk grubunda değerlendirildiği müdahalenin kısıtlı olması sebebiyle genelinin yapılar kabul edilebilir risk düzeyinde olduğu saptanmıştır. Üçüncü risk değerlendirilmesinde, yapıların %20 sinin sarı risk grubunda %40'a yakınının mavi risk grubunda olduğu gözlenmiştir. Mavi risk grubundaki bazı yapılarda spandrel bulundurulması sebebiyle kabul edilebilir risklere düşmüştür. Bu risk faktöründe düşeyde devam eden saydam yüzeylerde yangının ilerlemesini durdurucu etmen yoksa riskin aynı kaldığı gözlenmiştir.

- **Pasif Soğutma:**

Yapılarda ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılmasında doğal hava akımının kullanılması, sürdürülebilirlik uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu uygulamanın oluşturduğu riskler hava akımının yönlendirilerek yangının hızlanması, yine hava akımından kaynaklı yangın anında dumanı belirli bölgelere taşıyarak tahliye güçlüğü oluşturmasıdır.

Çizelge 4.7. Pasif soğutma ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Pasif Soğutma	Hava akımının yönlendirilmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Duman tahliye sistemi bulunmalı, Yağmurlama sistemi bulunmalı	
Pasif Soğutma	Duman yoğunluğundan görüş mesafesinin azalması	Tahliye güçlüğü	Boğulma			Duman tahliye sistemi bulunmalı	

Araştırma kapsamındaki binaların yalnızca 5 tanesinde pasif soğutma kullanıldığı gözlemlenmiştir. İncelenen bu yapılarda soğutma yüklerinin pasif havalandırma ile sağlanma oranına göre etkisi belirlenmiştir. Pasif havalandırmayı yüksek oranda kullanan yapılarda ilk risk skorlarının kırmızı ve sarı grupta yer aldığı belirlenmiştir. Duman tahliye için mekân ölçeğine uygun önlemler alındığı takdirde risklerin kabul edilebilir seviyeye düştüğü gözlenmiştir. İncelenen ikinci risk değerleri de genel itibariyle benzer

risk skorları vermiştir. Bu bilgilere dayanarak pasif soğutmanın yapılarda etkin kullanıldığı ölçüde yangın riskini arttırdığı gözlenmiştir. Yeterli önlem alındığında yapıda pasif soğutmaya ait risklerin mevcut duruma göre düşeceği fakat tamamıyla ortadan kalkmayacağı anlaşılmıştır.

- **Düzensiz Cephe Geometrisi:**

Güneş enerjisinden yüksek oranda fayda sağlamak ve görsel konfor amacıyla düzensiz cephe tasarımlarının yapılarda uygulandığı görülmektedir. Bu uygulamalar olası bir yangında duman ve alevlerin cephede hızla ilerlemesine sebep olabilmektedir.

Çizelge 4.8. Düzensiz Cephe Geometrisine ait Yapı Tespit Formu Verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Düzensiz Cephe Geometrisi	Cephede duman ve alevlerin ilerlemesini sağlayacak cephe hareketleri	Duman alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Duman kesici elemanların bulunması	

Gözlemlenen yapılarda cephe tipleri incelendiğinde, %45 'inde cephenin büyük oranda düzenli olduğu tespit edilmiştir. Binaların %20' ye yakınında cephe hareketlerinin yangın riskini arttıracak etmenler taşımaması mavi risk grubundan kabul edilebilir risk grubuna düşmesini sağlamıştır. Geriye kalan %35'lik kısımdaki yapılarda yangının hızla ilerleyebileceği cephe alanlarının olduğu ve risklerin önlemler düzeyinde bakıldığında aynı kaldığı saptanmış olup, cephe de düzensiz hareket olan alanların genel yüzdeye oranına göre riskler belirlenmiştir. Bu anlamda incelenen yapılarda düzensiz cephe geometrisinin yangın riskine etkisinin tasarım aşamasında düşünülmesi gerektiği ek müdahalelerle riskin ortadan kaldırılamadığı kanısına varılmıştır.

4.1.2.Donatı Malzemeleri

Yapılarda inşa tamamlandıktan sonra eklenen, kullanıcıların ihtiyacına yönelik kullanılan her türlü ürünler iç donatı malzemeleri adı altında toplanmaktadır. Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda kullanılan iç mekân donatı elemanlarından yangın risk faktörü oluşturduğu tespit edilen sistem ise iç mekân bitkilendirmelerdir. Uygulaması görsel konfor, iç mekâna oksijen sağlaması gibi sebeplerle tercih edilen bu sistemler iç mekân bitkilendirme başlığı altında incelenmiştir.

Çizelge 4.9. İncelenen Yapıların Donatı Malzemelerine Ait Yangın Risk Skor Tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Terminal Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzeme Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
İç Mekân Bitkilendirme	X	X	X	X	8	4	X	X	3	3	3	3	X	X	8	4	X	X	X	X	X	X
İç Mekân Bitkilendirme	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6	3	X	X	X	X	X	X
İç Mekân Bitkilendirme	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	X	X

Sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamında yapıların iç mekanlarında dikey bahçeler, bitkilendirme alanları oluşturulduğu bilinmektedir. Bu uygulamaların yangın riski açısından üç ayrı risk faktörü oluşturduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu risklerden ilki tutuşma riski olup yeşil yapraklı bitkilerin kuruması durumunda ortaya çıkmaktadır. İkinci risk seçilen bitkilerle ilgili olduğundan dikkat edilmemesi halinde zehirli gaz oluşumuna sebep olmaktadır. Bitkilerin ortam oksijenini arttırması ise olası bir yangının hızlanmasına sebep olabilmektedir.

Çizelge 4.10. İç Mekân Bitkilendirmeye ait Yapı Tespit Formu Verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm			Düzenli bakım yapılması, Yağmurlama sistemi bulunması	
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve uçucu parçacık açığa çıkması	Zehirlenme			Uygun bitki seçimi (uçucu yağ, reçine içermeyen), Düzenli bakım yapılması	
İç mekân bitkilendirme	Ortam oksijenini arttırma	Yangın hızının artması	Yaralanma, Ölüm			Yakınında alevleri ileten malzeme kullanılmaması	

Tez kapsamındaki yapılar üzerinde yapılan incelemelerde, %65 ‘e yakın yapıda iç mekân bitkilendirme olmadığı tespit edilmiştir. Geri kalan yapıların %75’inde bitkilendirmenin avlu alanlarında, teraslarda bulunması sebebiyle risk oluşturmadığı görülmüştür. Diğer %25’te ise bitkilerin düzenli bakımlarının yapılması, yağmurlama sistemi bulundurulması gibi sebeplerden risk oranı düşmüştür. Bitkilendirmeyle ilgili olarak ikinci risk uygulamanın iç mekânda olduğu 1 yapı da değerlendirilmiştir. Burada uygun bitkiler seçilmesi sebebiyle risk düşmüştür. Üçüncü riskte aynı şekilde bir yapı da gözlenip yakınında yangın iletecek malzeme olmaması sebebiyle risksiz kabul edilmiştir. Elde edilen risk skorları doğrultusunda, yapılarda bitkilendirmenin doğru şekilde yapılmasıyla risklerin kabul edilebilir seviyelere gerilediği gözlenmiştir.

4.1.3.Alan Seçimi ve Yerleşimi

Binaların yapım süreçleri başlamadan verilen bazı kararlar kullanım ömrü boyunca yapıya etki eden faktörleri belirlemektedir. Bir binanın yapılaşma alanı belirlendiğinde; o bölgenin iklimi, rüzgâr yönü, arazi verileri, bölgedeki yapılaşmanın yoğunluğu gibi temel özellikler ortaya çıkar. Bunlar yapının ömrü boyunca etkileneceği kriterlerdir. Bun kriterler sonrasında, yapının tasarlanmasına ait kararlarda da etkili olmaktadır. Yapının gerekliliklerine göre bina yerleşimi ve zemin altı katlar, arazi verilerine göre kot farkı kullanımı, iklim bölgesine göre gölgelendirme amaçlı peyzaj kullanımı, çevre yapılar ile yakınlık belirlenmektedir. Bu kararların tamamı yapılaşma alanının seçimi ve nasıl yerleşileceği ile ilgili kararlar olup, sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda enerjinin verimli kullanımını devamlı olarak etkileyecektir. Bu başlık altında incelenmesi planlanan; su kaynaklarının azaltılması maddesi incelenen yapılarda bulunmadığından tablodan çıkarılmıştır. Sürdürülebilirlik uygulamalarına ait verilerin yangın riskleri açısından irdelenmesi için 8 başlıkta,9 ayrı yangın risk faktörüne ait değerlendirme yapılmıştır. Bu başlıklar ise Şekil 4.3.'te verildiği üzeredir.



Şekil 4.7. Alan seçimi ve yerleşimine ait alt başlıklar

Çizelge 4.11. Yapıların Alan Seçimi ve Yerleşimine Ait Yangın Risk Skor Tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Terminal Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzeme Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
İklim Bölgesi	4	4	4	4	4	4	4	4	5	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Rüzgâr Yönü	6	3	8	4	8	4	12	8	3	3	6	3	8	4	12	8	12	8	12	8	8	4
Binanın Yerleşimi	12	8	1	1	15	5	1	1	5	10	15	10	1	1	1	1	4	4	15	15	8	4
Binanın Yerleşimi	12	8	6	6	20	10	1	1	5	15	15	10	1	1	1	1	4	4	15	15	8	8
Çevre Yapılar ile Yakınlık	3	3	1	1	15	5	15	5	10	15	8	4	1	1	6	6	1	1	12	8	6	6
Bölgedeki Yapı Yoğunluğu	3	3	1	1	15	5	8	4	3	3	8	4	4	4	3	3	1	1	8	4	8	4
Zemin Altı Katlar	8	4	X	X	15	5	12	4	20	5	8	4	8	4	20	5	X	X	12	4	12	4
Kot Farkının Kullanılması	8	8	6	6	X	X	15	5	20	5	8	4	X	X	15	5	X	X	12	4	20	5
Gölgelendirme Amaçlı Peyzaj	X	X	1	1	X	X	1	1	1	1	X	X	6	3	1	1	X	X	1	1	X	X

- **İklim Bölgesi:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapıların bulunduğu iklime göre tasarlanarak sıcak iklimlerde soğutma yüklerinin, soğuk iklimlerde ısıtma yüklerinin azaltılması sağlanmaktadır.

Çizelge 4.12. İklim Bölgesi ile İlgili Yapı Tespit Formu Verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
İklim Bölgesi	Ortam Sıcaklığının artışı	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm			Yağmurlama sistemi, yangın algılama sistemleri	

İncelenen yapıların %90'ı ılıman iklimde bulunması sebebiyle yapılara ait risk skorunun kabul edilebilir düzeyde olduğu gözlenmiştir. Karasal iklimde yer alan bir yapı mevcut olup yapıdaki ortam sıcaklığının artışının sarı risk grubundayken yapıda yangın algılama ve söndürme sistemlerinin bulunması, yangın güvenlik önlemlerinin alınması sebebiyle mavi risk grubunda değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, yapılarda iklim ve tasarım verilerinin yangın riskinde etkisi olabileceği gerekli önlemlerle risklerin ortadan kalkmayacağı fakat kabul edilebilir düzeylere indirgenebileceği tespit edilmiştir.

- **Rüzgâr Yönü:**

Sürdürülebilirlik kapsamında soğutma ve havalandırma yüklerinin azaltılması amacıyla rüzgâr yönünden yararlanılmaktadır. Hâkim rüzgâr yönü doğrultusunda konumlanan yapılarda oluşacak hava akımı bu yükleri azaltırken, olası bir yangında duman ve alevlerin yayılmasına sebebiyet vermektedir.

Çizelge 4.13. Rüzgâr yönü ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Rüzgâr Yönü	Yapı konumlanmasına göre yangını etkileme	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm			Yangın algılama ve söndürme sistemleri	

Araştırılan yapıların yönlenimi ve hâkim rüzgâr yönü belirlenerek aralarındaki ilişkiye bakılmıştır. Bu doğrultuda yapıların %36'sında hâkim rüzgâr yönü ve yapı yönlenimi

aynı olması sebebiyle ilk aşamada sarı risk grubunda olduğu görülmektedir. Bu yapılarda pasif soğutmadan yararlanıldığı için rüzgâr yönü yangın riski için etkili olacaktır. Bu sebeple önlemler alınsa da ikinci risklerde mavi grupta yer almıştır. %54'ünde yapı yerleşimi rüzgâr yönüne yakın fakat aynı doğrultuda olmadığından mavi grupta riskler oluşturduğu gözlenmektedir. Bu yapıların ise bir kısmında pasif soğutma kullanılmadığından ve kullanılan yapılarda önlemlerin tam olası sebebiyle riskler kabul edilebilir gruba düşmüştür. Geri kalan yapılarda ise doğrultular arasında bir ilişki kurulamadığından risk gözlenmediğinden kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Bu bilgiler ile rüzgâr yönünün yapı yönlenimi ile aynı aksta olduğu yapılarda pasif havalandırma kullanılıyorsa yangın riskine etkisi olacağı saptanmıştır.

- **Binanın Yerleşimi:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapının olduğu araziye erişimde doğaya zararı azaltmak amacıyla patika yollar, dar geçiş alanlarıyla yaya erişimi sağlanmaktadır. Yapılaşmanın etrafında yine doğaya zarar vermemek adına yapıyı çevreleyen ağaçlık alanlar, kayalıklar vb. halihazırda bulunduğu şekilde bırakılmaktadır. Bu ve benzeri uygulamalar çevreye zararı azaltmak için yapılsa da olası bir yangında yapıya itfaiye erişiminin kısıtlanması çok daha büyük zararları meydana getirecektir. Konu risk faktörü olarak 2 ayrı başlık altında irdelenmiştir. İlki araziye itfaiye aracının erişebileceği genişlik ve ilerleyebileceği yollar açısından değerlendirirken, ikinci riskte yapıya cepheden erişim değerlendirilecektir.

Çizelge 4.14. Binanın yerleşimine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Binanın yerleşimi	İtfaiye ulaşımına uygun olmayan yollar	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm			Araziye itfaiye aracı erişebilecek genişlikte ve ağırlığı taşıyabilecek yollar sağlanmalı	
Binanın yerleşimi	İtfaiye aracının binaya erişememesi	Tahliye güçlüğü	Zehirlenme, ölüm			İtfaiye merdiveninin binaya erişimi sağlanacak şekilde tasarlanmalı	

İncelenen 11 yapıya erişimde kullanılan yollar değerlendirilmiştir. Yapıların %45'inde yapıya giden yolların tamamının ya da bir kısmının itfaiye erişimine uygun olmaması sebebiyle sarı risk grubunda değerlendirilmiştir. Yapıda alınan yangın güvenlik önlemleri ve uygun olan bir kısım yollar göz önüne alındığında ikinci risk skorlarında sarı riskler yapıların %18'ine düşmüştür. Yapıların %10'unda mavi grupta yer alan riskler önlemler ile kabul edilebilir hale gelmiştir. %45'inde ise yollar itfaiye ulaşımına uygun olduğundan herhangi bir risk görülmemiş olup kabul edilebilir grupta yer almışlardır. İkinci risk faktöründe itfaiye araçlarının yapıya cepheden erişimi incelenerek hazırlandığından çoğu risk faktörü benzer özelliklere sahiptir. Bu risk faktöründe ilk inceleme de yapıların %45'inde kırmızı ve sarı risk skorları tespit edilmiştir. Önlem sonrası yapıların %27'sinin erişimin mümkün olmaması sebebiyle risk skorlarında azalma olmadığı görülmüştür. İlk ve ikincil risk skorları mavi grupta incelenen yapıların cephe erişimleri tek bir noktadan yapılabilmesi sebebiyle risk değerleri mevcuttur. Bina yerleşimi başlığı altında bulunan değerler, yapı üretimi tamamlandıktan sonra alınan yangın güvenlik önlemleri ve sistemlerin incelenen risk faktörlerini azaltma oranının düşük olduğu tespit edilmiştir.

- **Çevre Yapılar ile Yakınlık:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılan her türlü uygulama da amaç çevreye yapılan zararı minimuma indirmektir. Bunlardan biri de yapılaşmanın yoğunlaştırılarak daha çok insanın gereksinimlerini aynı bölgede karşılanmasını sağlamaktır. Böylelikle doğal çevreye müdahale azaltılması planlanmaktadır. Bu uygulamanın sebep olduğu yangın riski ise olası bir yangında alevlerin ve dumanın yakındaki diğer yapılara kısa sürede sirayet etmesi olacaktır.

Çizelge 4.15. Çevre yapılar ile yakınlık'a ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Çevre yapılar ile yakınlık (bitişik nizam vb.)	Yangının çevre yapılara sirayet etmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Yapılar arası yangın yayılmasını engelleyecek mesafe sağlanmalı Bitişik nizamlarda yangın duvarı yapılmalı	

İncelenen 11 yapının çevre yapılar ile ilişkisine bakıldığında bunların %36 'sının sarı risk grubunda olduğu görülmektedir. Bu yapılar genellikle kendi blokları ve bölümleri

arasında mesafe bulunmaması ya da bloklar arası mesafenin çok az olması sebebiyle risk oluşturmaktadır. Fakat sarı risk grubunda incelenen yapıların %75'i tasarımlarının bağıl olup, yangın güvenlik önlemleri alınırken bir bütün halde alındığından riskleri ikincil risklerde mavi grupta görülmektedir. Yapıların %20'sinde ise çevre yapılar ile yakınlık risk skoru birinci skorda ve ikinci skorda mavi grupta olduğu belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak yapı tasarım sürecinde bir bütün halinde tasarlanmayan çevre yapıların yangın riski oluşturduğu saptanmıştır.

- **Bölgedeki yapı yoğunluğu:**

Sürdürülebilir bir çevre oluşturma kapsamında yapıların yoğunlaşmasının yanı sıra, insanların her türlü gereksinimini kendi yaşadığı yakın çevre de karşılaması da enerjinin korunumu açısından oldukça faydalı bir planlama uygulamasıdır. Bu planlama uygulamasının hayata geçirildiği yerlerde bölgede ihtiyaçlar doğrultusunda yoğunlaşmaktadır. Bu durumda bölgede yangının yayılma ihtimali artacağı açıktır.

Çizelge 4.16. Bölgedeki yapı yoğunluğuna ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Bölgedeki yapı yoğunluğu	Yoğun yerleşim bölgelerinde yangının yayılma ihtimalinin artması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Yangın riski yüksek fonksiyonların alandan uzaklaştırılması	

Yapılarda bu durumun değerlendirilmesi için, yapı yoğunluğuna ve çevre de yanıcı, patlayıcı malzemelerin bulunduğu benzinlik, termik santral vb. yapıların mevcut olup olmamasına bakılmıştır. İnceleme de %50'den fazlasının bulunduğu bölgede yapı yoğunluğu olmadığından risk bulunamamıştır. Geri kalan yapılar yoğun bölgelerde olması sebebiyle sarı ve mavi risk skorlarında bulunmaktadır. Ancak çevresinde yangın riski yüksek fonksiyon bulunmadığından ikinci risk değerleri düşüktür.

- **Zemin Altı Katlar- Kot Farkının Kullanımı:**

Sürdürebilir yapılarda ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılması, yapılaşma alanının daha verimli ve yoğun kullanımı gibi çeşitli sebeplerden zemin altı katların sıkça tasarlandığı, arazinin yapısı müsait ise kot farkının değerlendirildiği görülmektedir. Toprak seviyesi

altında kalan katlarda olası bir yangında dışarıdan müdahale yapılamadığı gibi, içeri de bulunan insanların tahliyesi de normal katlara göre daha güç olmaktadır. Bu sebeple daha yoğun yangın güvenlik önlemleri alınması ve acil çıkışlar düzenlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.17. Zemin altı katlar ve kot farkının kullanılması ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Zemin altı katlar	Yapıya dışarıdan müdahalenin yapılamaması	Tahliye güçlüğü	Yaralanma, ölüm			Zeminin alt kotlarında acil durum planlaması yapılmalı ve acil çıkışlar sağlanmalı	
Kot farkının kullanımı	Yapıya dışarıdan müdahalenin yapılamaması	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm			Yağmurlama sistemi, Duman kontrol ve tahliye sistemlerinin bulunması	



Şekil 4.8. Kot farkı örneği



Şekil 4.9. Bodrum kat acil durum tahliye örneği

Yapıların zemin altı katları incelendiğinde, yapıların %54'ünde zemin altı katların fazlalığı ve mekânın genel kullanıcı sayısı göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirme de kırmızı ve sarı risk grubunda oldukları gözlenmiştir. Özellikle kırmızı grupta bulunan yapılar, insanların tahliye güçlüğü yaşayabileceği ve kitleler halinde bulunduğu alanlardan olmaları sebebiyle büyük önem taşımaktadır. İlk risk skorlarında kırmızı ve sarı risk grubunda bulunan yapılarda yoğun yangın güvenlik önlemlerinin alınması ve acil durum çıkışlarının sağlanmasıyla mavi ve yeşil risk skorlarına ulaşılmıştır. Yapıların %20'sinde zemin altı kat bulunmadığından inceleme de yer almamıştır. Bu bilgiler doğrultusunda zemin altı katların kullanımı yapılarda yangın riskini önemli ölçüde arttırdığı bulunmuştur. Yapıların araziye yerleşimi ve beraberinde kot farkı kullanımı değerlendirildiğinde %45'inde ilk risk skorları kırmızı ve sarı grupta bulunmaktadır. Riskli gruptaki bu yapılarda önlemlerin yeterli olması ve acil durum çıkışlarının sağlanmasıyla birlikte risk skorlarının mavi ve yeşil gruplara düştüğü gözlenmiştir. %27'lik ilk risk skorlarının mavi olduğu grupta kot farkına ait önlemlerin yeterli olduğu yapılarda düştüğünü, yetersiz kaldığı durumlarda risk skorlarının aynı kaldığı saptanmıştır. Geri kalan yapılarda kot farkı kullanımı olmadığından risk oluşmamıştır.



Şekil 4.10. Bodrum kat acil durum tahliye örneği

- **Gölgelendirme Amaçlı Peyzaj Kullanımı:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapının ihtiyaç duyduğu ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılması amacıyla yapıların belirli bölgelerinde gölgelendirme amaçlı peyzaj uygulamalarının yapıldığı bilinmektedir. Yangın riskleri açısından incelendiğinde bu uygulamaların olası bir yangında, yangının çevreye sirayet etmesine sebep olması ve itfaiye aracı erişimine engel olması gibi risk faktörleri tespit edilmiştir.

Çizelge 4.18. Gölgelendirme amaçlı peyzaj elemanı ile ilgili yapı tespit formu verileri

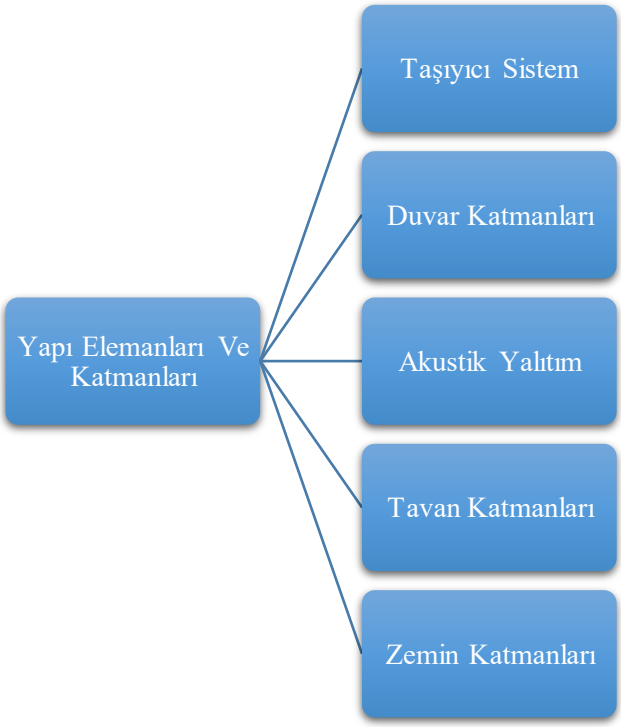
SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Gölgelendirme amaçlı peyzaj elemanı kullanımı	Yangının peyzaja sirayet etmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma ,ölüm			Yapı açıklıkları ve peyzaj elemanı arasında mesafe olmalı	

Uygulama kapsamında yapıların %50 ‘den fazlasında yapı da yangın risk faktörü oluşturmayacak uzak mesafelerde konumlandırıldığından hepsinin kabul edilebilir risk düzeyinde olduğu görülmüştür. Geri kalan yapılarda ise gölgelendirme amaçlı peyzaj elemanı bulunmadığından risk yoktur.

4.1.4.Yapı Elemanları ve Katmanları

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda ham maddenin verimli kullanılması, işgücü ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlayan sistem elemanları ve yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu sistem ve malzemeler içerisinde yangın dayanımı düşük/yanıcı malzemeler ve yapı elemanları olduğu bilinmektedir. Yangın riski oluşmaması için sistemlerin gerekli yangın yalıtımı yapılarak kullanılması ya da yapılarda yanıcı olmayan malzeme ve sistem elemanlarının tercih edilmesi önerilmektedir. Yanıcı elemanların kullanılması yerine göre yangının yayılması, yangında tahliyeyi zorlaştırma, yapıda çökme riski gibi çeşitli sorunlara sebep olmaktadır.

Bu sorunlar yapı elemanları ve katmanları başlığı altında 5 bölümde 8 ayrı risk faktörü olarak incelenmiştir. Sürdürülebilir yapı elemanı ve katmanları incelenirken sistemdeki diğer elemanlar ile etkileşim halinde olması dolaylı olarak sürdürülebilir malzemeleri etkileyeceğinden bahsedilen katmanlarda görülen tüm malzemeler incelenmiştir. O bölümde kullanılan malzemelerin çeşitlenmesi halinde aynı başlığa ait birden fazla risk skoru değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmeye ait tablo aşağıdaki üzeredir.



Şekil 4.11. Yapı elemanları ve katmanlarına ait alt başlıklar

Çizelge 4.19. Yapıların yapı elemanları ve katmanlarına ait yangın risk skor tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Terminal Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzeme Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
Taşıyıcı Sistem	1	1	1	1	3	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	1	1	1	1
Duvar Katmanları	15	10	1	1	1	1	8	4	5	15	1	1	8	12	3	3	1	1	4	12	3	3
Duvar Katmanları	X	X	8	4	15	20	X	X	4	12	X	X	8	12	X	X	4	8	X	X	X	X
Akustik Yalıtım	b	b	X	X	1	1	1	1	10	15	15	10	10	15	12	8	X	X	10	15	12	8
Tavan Katmanları	8	4	8	4	1	1	8	4	10	15	8	4	10	15	15	10	1	1	4	8	8	4
Tavan Katmanları	X	X	X	X	8	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8	8	8	12	20	15
Zemin Katmanları	15	5	1	1	1	1	15	5	10	15	20	15	1	1	1	1	1	1	15	20	15	10
Zemin Katmanları	15	10	X	X	X	X	X	X	X	X	8	4	X	X	X	X	4	8	X	X	X	X

- **Taşıyıcı Sistem:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında yapım süresince iş gücü ve harcanan enerjinin azaltılması amacıyla prekast ve prefabrike taşıyıcı sistem elemanları; daha hafif olan ve daha az ham madde kullanılarak elde edilen çelik sistemler vb. birçok sistem bulunmaktadır. Bu sistemler yangın risk faktörü açısından incelendiğinde prekast sistemlerin montajı sırasında doğabilecek sorunlar, çelik sistemlerde ise doğrudan yapı elemanının yanıcılığı risk faktörü oluşturmaktadır. Bu konuda tehlike, sistem elemanlarının yanıcılığı; risk, yangında taşıyıcı sistemin çökmesi, zarar ise yaralanma ve ölüm olmaktadır. Önlem ise çelik sistemlerde yangın yalıtımı yapılarak yangın dayanımı arttırılmasıdır. Yapıların taşıyıcı sistemleri incelendiğinde, %80'den fazlasının taşıyıcı sistemi betonarme olması sebebiyle risk faktörü oluşmamıştır. Geri kalan yapılar prekast sistemle inşa edilmiş olup, yapım süresinde herhangi bir sorunla karşılaşılmadığından risk düzeyinin kabul edilebilir olduğu saptanmıştır.

- **Duvar Katmanları:**

Yapılarda sürdürülebilirlik doğrultusunda daha az ham madde harcanması ve çevre dostu malzemeler kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemeler içerisinde yangın dayanımı düşük olan malzemelerin kullanılması doğrudan yangın yükünü arttırmaktadır. İncelenen yapıların duvarlarında kullanılan bölücü eleman, yapıştırma malzemesi, renklendirme malzemeleri, kaplama malzemeleri yangın davranışı bir bütün halinde olacağından birlikte değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12. Cam bölme kullanımı örneği



Şekil 4.13. Ahşap duvar kaplaması örneği

Çizelge 4.20. Duvar Katmanlarına ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Duvar Katmanları	Yanıcı malzemelerin kullanımı, Yangın yalıtımı yapılmaması	Tutuşma riski	Yaralanma, Ölüm			Yangın yalıtımı yapılması, Yanıcı olmayan malzeme tercih edilmesi	

Duvar katmanlarına ait ilk risk skorlarında yapının genelinde kullanılan bölücü eleman ve kaplama malzemelerine ait riskler değerlendirilmiştir. Bölücü duvar elemanlarında; metal çerçeve üzeri alçıpan levha kullanılması, ahşap bölücü paneller kullanımı, cam bölmelerin kullanımının risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Kaplama malzemelerinde; ahşap kaplama, duvar kâğıdı, kompozit panel kaplama elemanları kullanıldığından yangın riski oluştuğu tespit edilmiştir. Bu malzemelerin yapı da kullanım oranına ve alınan yangın güvenlik önlemlerine göre risk skorları belirlenmiştir. Bölücü elemanlarda A sınıfı yanmaz grupta olan taşyünü gibi malzemelerin plakalar arasında kullanılmasıyla risklerin kabul edilebilir seviyelere düşebileceği gözlenmiştir. Kaplama malzemeleri nde yangın dayanımı düşük malzemelerin kullanım oranına göre sarı ve mavi risk grubunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Kompozit duvar kaplama örneği

İncelenen yapıların %36'sında ilk risk skorları sarı grupta yer almaktadır. %10'a yakını mavi risk grubunda yer almaktadır. Geri kalan yapılarda duvar katmanlarında gazbeton bölücü duvar elemanları, mermer kaplama, doğal taş kaplama, sıva+boya gibi elemanlar kullanılmış olup, yangın açısından risk oluşturmadığı tespit edilmiştir. Alınan önlemler sonucu risk skoru yüksek olan yapıların önlem sonrası değerlerinde sarı risk grubunda yapı oranı %10'a düşmüştür. Geri kalan yapılarda mavi gruba düştüğü gözlenmiştir. 11 yapının 5 tanesinde birden fazla duvar kaplama elemanı ve bölücü eleman kullanılmıştır. Bu sebeple yapılan ikinci duvar katmanı risk analizinde, yapıların %60'ının kırmızı ve sarı risk grubunda olduğu, %40'ının mavi risk grubunda olduğu görülmüştür. Önlem sonrası ise bu durumun %20 sarı risk grubu, %20 mavi risk grubunda olduğu geri kalanının kabul edilebilir risklerde olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda duvar katmanına göre bölücü elemanlar ve renklendirme elemanlarında yangına dayanıklı malzemeler seçilmesi veya yangın yalıtımı yapıldığı takdirde risklerin azaltılabildiği, kaplamalarda bitiş elemanı olması sebebiyle risklerinin mevcut olacağı bilinmelidir.

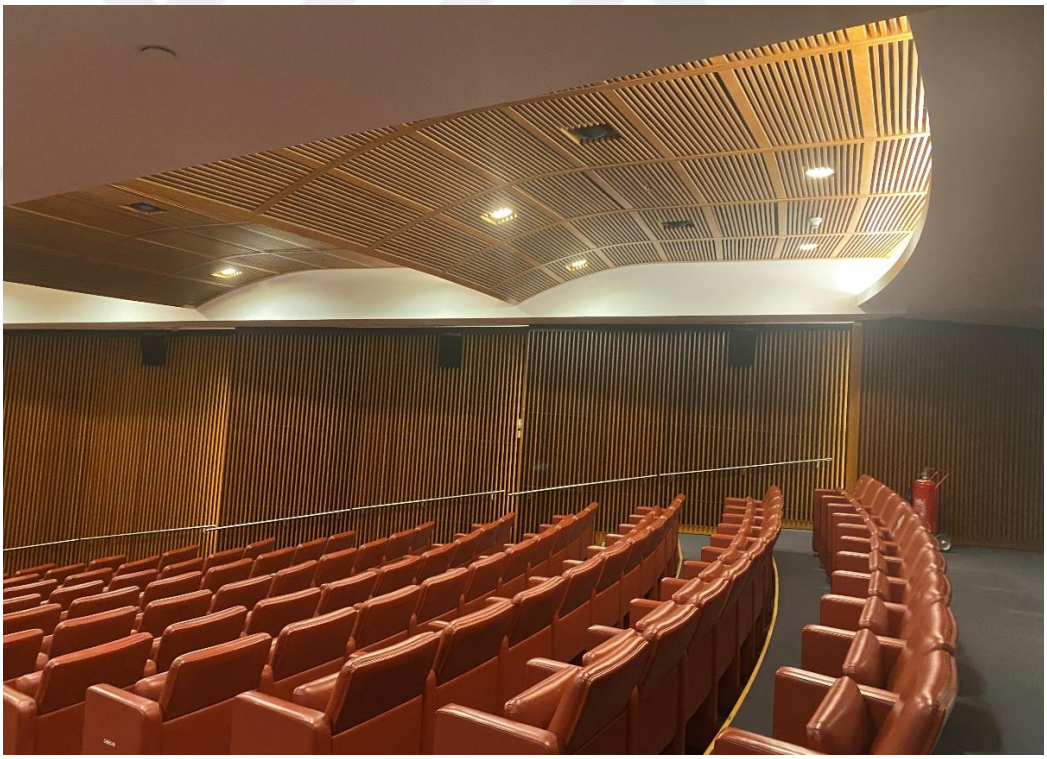
- **Akustik Yalıtım:**

Yapılarda toplantı salonları, sinema salonları, meclis salonları, konser salonları, tiyatro salonları gibi farklı amaçlara hizmet eden toplanma amaçlı salonlarda gürültü kontrolü

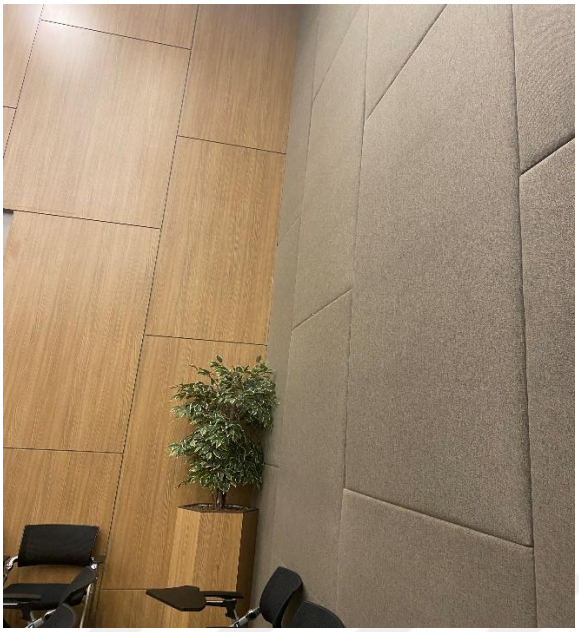
sağlanması amacıyla akustik yalıtım malzemeleri kullanıldığı bilinmektedir. Malzemelerin çeşitlenmesiyle sürdürülebilir akustik yalıtım malzemeleri de uygulanmaktadır. Binalarda bu doğrultuda yapılan uygulamalar beraberinde duvar kesitini oluşturan diğer elemanları da etkilemesi sebebiyle yalnızca sürdürülebilir olanlar değil, tüm akustik yalıtım malzemeleri bu başlık altında yanıcılık özellikleri açısından değerlendirmiştir.

Çizelge 4.21. Akustik Yalıtıma ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Akustik Yalıtım	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			A1 Yanmaz sınıfı malzeme seçimi, acil kaçışların bulunması, yangın algılama-söndürme sistemlerinin kullanılması	



Şekil 4.15. Ahşap akustik duvar ve tavan panelleri



Şekil 4.16. Kumaş kaplı akustik duvar paneli örneği

Tez kapsamında incelenen 11 yapıda akustik ahşap panel, kumaş kaplı panel, camyünü, taş yünü, keçe gibi çeşitli elemanlar kullanıldığı gözlenmiştir. Bu yapılarda ahşap panel ve kumaş kaplı panel gibi akustik sistemler kullanılırken camyünü, taşyünü, keçe gibi yangın dayanımı yüksek ürünlerle birlikte kullanılması ya da tercih edilmemesi gerekmektedir. Tez kapsamında incelenen 11 yapının iki tanesinde akustik yalıtım bulunmadığından inceleme kapsamında yer almamaktadır. Akustik yalıtım bulunan yapıların %60'ında ilk risk skorunun sarı grupta olduğu tespit edilmiştir. Geri kalan yapılarda risk oluşturmayan taşyünü, keçe, cam yünü gibi malzemeler kullanıldığı görülmüştür. Önlemler sonrası sarı risk grubundaki yapıların yalnızca %20'sine ait risk skoru mavi gruba düştüğü gözlenmiştir. Akustik yalıtımda kullanılan malzemelerin birçoğunun yanıcılık özelliklerinin yüksek olduğu ve yangın güvenlik önlemleriyle riskleri ortadan kaldırmanın mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu yüzden akustik yalıtım malzemeleri seçilirken yanıcılık sınıfı A1 yanmaz sınıfı malzemeler seçilmesi önem taşımaktadır.

- **Tavan Katmanları:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda daha az hammadde ile üretilen, iç ortam hava kalitesini olumsuz etkilemeyen, çevreye zarar vermeyen malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda tavan katmanlarında kullanılan malzemeler de çeşitlenmiştir.

Tavanlarda kullanılan sürdürülebilir malzemelerin yanıcılık özellikleri değerlendirilerek risk oluşturan malzemelerin tespiti yapılmıştır. Tavan katmanlarında, sıva-boya ve kaplamalar bir arada bulunduğu için olası bir yangında bir malzemenin yanıcı olması diğerlerini de etkileyecektir. Bu doğrultuda araştırmanın doğru sonuçlara ulaşabilmesi için yalnızca sürdürülebilir malzemeler değil, tavanlarda kullanılan tüm malzemeler yangın riski açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 4.17. Ahşap tavan kaplama örneği

Çizelge 4.22. Tavan Katmanlarına ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Tavan Katmanları	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			A1 Yanmaz sınıfı malzeme seçimi, acil kaçışların bulunması, yangın algılama-söndürme sistemlerinin kullanılması	



Şekil 4.18. Kumaş tavan kaplama örneği



Şekil 4.19. Petek asma tavan kaplaması örneği

İncelenen yapılarda kullanılan ahşap kaplama, kompozit kaplama, petek asma tavan, ahşap sistem üzeri kumaş kaplama, metal panel malzemelerinin yanıcılık özelliklerinden dolayı yapılarda yangın risk faktörü oluşturduğu tespit edilmiştir. Yapıların %27'sinin sarı risk grubunda, %54'ünün ise mavi risk grubunda olduğu tespit edilmiştir. Önlemler sonrasında bu risk skorlarından sarı risk grubunda olanların oranının aynı kaldığı, mavi risk grubunda olanların ise önlemler ile kabul edilebilir risk değerlerine düştüğü gözlenmiştir. Geri kalan yapılarda ise sıva-boya, alçıpan asma tavan, yangın yalıtımlı alüminyum clip-in tavan sistemi gibi yangın riski oluşturmayan katmanlar kullanılması sebebiyle risk faktörü oluşmamıştır. Yapıların 4'ünde birden fazla tavan katmanı kullanıldığından bu yapılarda ikinci risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu katmanlardaki ilk inceleme de %75'inde kırmızı ve sarı grupta riskler olduğu ortaya çıkmıştır. Önlemler doğrultusundaki risk skorları sarı ve mavi grupta olmuştur. İki ayrı analizde de yapılarda yüksek yanıcılık özelliğine sahip malzemelerinin kullanılması durumunda yangın güvenlik önlemlerinin yüksek yangın risklerini genellikle düşürmediği saptanmıştır.

- **Zemin Katmanları:**

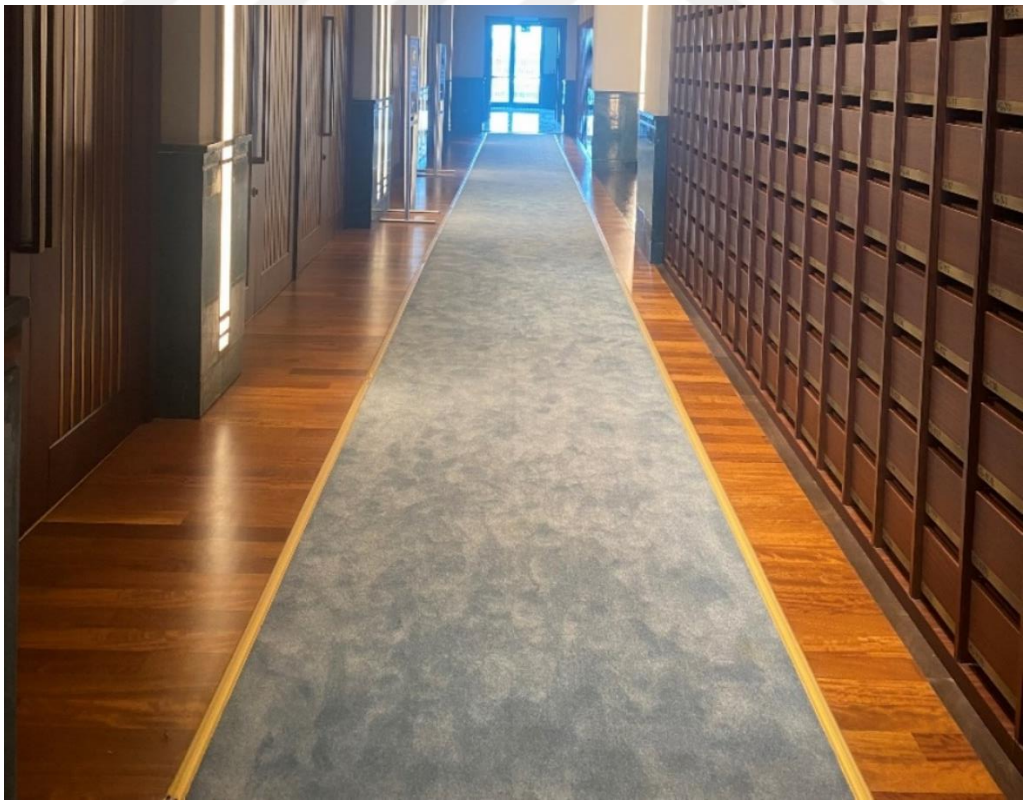
Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında daha az hammadde kullanıldığı, hafif, çevreye zarar vermeyen çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan sürdürülebilir zemin katmanları değerlendirildiğinde bazı malzemelerin yangın dayanımının düşük olması yangının hızla yayılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca zemindeki katmanlar olası bir yangın anında kaçış yollarının kullanılmasına engel olması sebebiyle de ayrıca önem taşımaktadır. Bu doğrultuda zemin katmanlarına ait değerlendirme yapılırken sistemin tamamını etkilemesi sebebiyle tüm zemin katmanları incelenmiştir.

Çizelge 4.23. Zemin Katmanlarına ait yapı tespit formu verileri

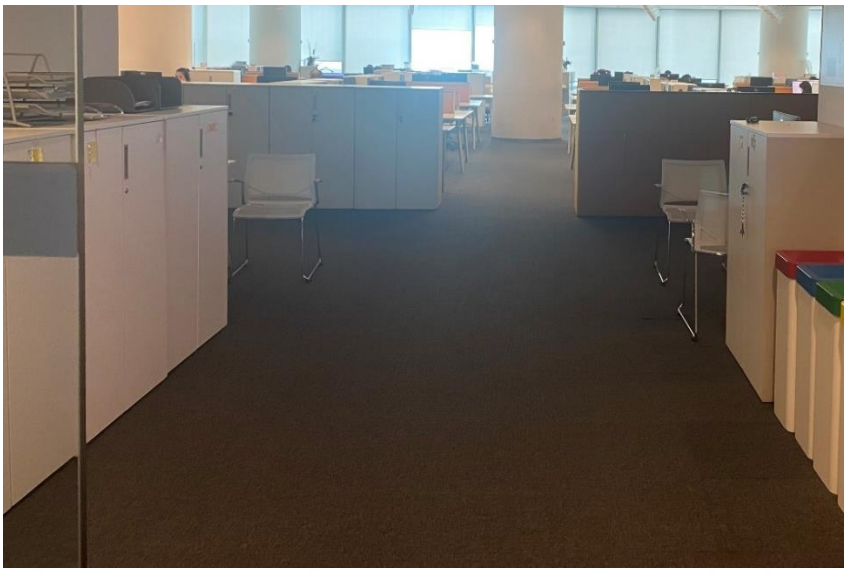
SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Zemin Katmanları	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması, Kaçış yollarının kullanılamaması	Tutuşma riski, tahliye güçlüğü	Yaralanma, ölüm			A1 Yanmaz sınıfı malzeme seçimi, acil kaçışların bulunması, yangın algılama-söndürme sistemlerinin kullanılması	



Şekil 4.20. PVC zemin kaplama örneği



Şekil 4.21. Parke zemin kaplama örneği



Şekil 4.22. Yükseltilmiş zeminde halı kaplama örneği

İncelenen yapılarda, yükseltilmiş döşemelerin elektrik kablolarının geçtiği bir şaft oluşturması sebebiyle yangın riski oluşturduğu tespit edilmiştir. Zemin kaplamalarında ise; halı, parke, vinil gibi PVC zemin kaplamalarının yangın dayanımlarının yüksek olmaması sebebiyle yangın risk faktörü oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu malzemelerin ve sistemin görüldüğü yapılarda risk skorlarının sarı ve kırmızı grupta olduğu belirlenmiştir. Tez kapsamında incelenen yapıların %54'ünde risk skorunun kırmızı ve sarı risk grubunda olduğu görülmüştür. Yangın güvenlik önlemleri ile birlikte değerlendirildiğinde bu oranın yapılarda %36'ya düştüğü görülmektedir. Geri kalan yapılarda mermer kaplama, seramik kaplama, tesviye betonu gibi yanıcılık özelliği bulunmayan kaplamalar bulunması sebebiyle risk oluşmadığı gözlenmiştir. 11 yapının 3 tanesinde birden fazla zemin katmanı olduğundan ikinci risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu yapılardan 1 tanesinde risklerin sarı grupta, ikisinde mavi grupta olduğu gözlenmiştir. Önlemler sonrasında ise sarı gruptaki risk skorunun değişmediği, mavi gruptaki risklerin kabul edilebilir seviyeye düştüğü görülmüştür. İncelenen yapılarda kullanıcı sayılarının yüksek olması sebebiyle kaçış yollarının acil durum tahliyesine uygun olması çok önemlidir. Bu doğrultuda kullanılan malzemeler seçilirken risk faktörü oluşturan kaplama malzemelerinin yangına dayanıklı hale getirilerek kullanılması gerekmektedir. İnceleme sonuçlarından da anlaşılacağı üzere yüksek risk oluşturan malzemelerin kullanıldığı yapılarda yangın algılama-söndürme sistemleri bulunsa da risklerin kabul edilebilir

seviyeye düşmediği gözlenmiştir. Bu sebeple önlemlerin tasarım aşamasında alınması gerektiği saptanmıştır.

4.1.5.Cephe Özellikleri

Yapıların dış ortam ile iç ortam ilişkisini belirleyen kısımlardan biri olması sebebiyle sürdürülebilirlik kapsamında cephelerle ilgili uygulamalar oldukça fazladır. Güneş, rüzgâr gibi tükenmeyen enerji kaynaklarından yararlanarak yapının ısıtma-soğutma-havalandırma ve aydınlatma ihtiyaçlarına gereken enerjinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda gelişen teknolojiler ve yapım sistemleriyle birlikte cepheler üzerinde çeşitli malzeme tipleri, sistemler ve uygulamalar kullanıldığı bilinmektedir. Bu başlık altında incelenmesi planlanan; yeşil cephe sistemi, güneş tüpleri ve uyarlanabilir cephe sistemleri incelenen yapılarda bulunmadığından tablodan çıkarılmıştır. İncelenen yapılarda mevcut cephe özellikleri ile 8 ayrı madde de, 9 farklı yangın riski yapılar üzerinde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.23. Cephe özelliklerine ait alt başlıklar

Çizelge 4.24. İncelenen yapıların cephe özelliklerine ait yangın risk skor tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Termin al Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzemeleri Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
Cephe Sistemi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	4	8	4	15	10	1	1	12	8	8	8
Yalıtım Malzemesi	b	b	1	1	12	8	12	8	1	1	1	1	1	1	b	b	X	X	b	b	1	1
Cephe Kaplama Malzemesi	1	1	6	6	12	8	1	1	1	1	1	1	6	3	1	1	1	1	15	10	10	5
Cephe Kaplama Malzemesi	X	X	X	X	1	1	4	4	X	X	8	4	10	5	X	X	10	5	X	X	X	X
Cam Özelliği	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	6	3	8	4	6	3	8	4	8	4
Pencere Kasa Kanat Malzemesi	8	4	12	4	8	4	12	4	12	4	12	4	6	3	12	8	1	1	8	8	8	4
Çift Kabuk Cephe Özelliği	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20	10	X	X
Güneş Kırıcılar	X	X	X	X	X	X	15	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	15	15	15	10
Tenteler	X	X	X	X	12	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

- **Cephe Sistemi:**

Yapılarda sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamında yalıtım malzemeleri, boşluklu cepheler vb. sistemlerin kurulduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda incelenen 11 yapının %18'inin sarı risk grubunda, %27'sinin mavi risk grubunda yer aldığı görülmüştür. Geri kalan yapılarda cephe sistemi ile alakalı yangın riski tespit edilmemiştir. Cephe sistemleri ile ilgili önlemler ile birlikte hesaplanan ikinci risk skorları incelendiğinde yapıların sarı risk grubunda %9, mavi risk grubunda %18 oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu verilere göre incelenen yapıların cephe sistemi açısından yüksek oranda riskler taşımadığı tespit edilmiştir. Yapılarda alınan önlemlerin cephe sisteminden doğan yangın risklerini ortadan kaldırmadığı görülmüştür.

- **Yalıtım Malzemesi:**

Sürdürülebilir yapılarda enerjinin korunumu ve verimli kullanılması kapsamında yapılarda ısı kaçışlarını minimuma indirmek için dış cephe de yalıtım malzemelerinin kullanımı yaygındır. Bu malzemelerin ısı geçirgenlik katsayısına bağlı olarak yapılarda ısıtma yüklerini azalttığı bilinmektedir. Cephelerde taş yünü, camyünü, xps, eps, poliüretan gibi çeşitli yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Bu malzemeler arasında yanıcı malzemelerde bulunmaktadır. Bu malzemelerin dış cephede kullanılması, olası bir yangında bir noktada dış cepheye ulaşan yangının diğer katlara kısa süre içerisinde ulaşarak yangının büyümesine, yanarak yapıdan ayrılan parçalar ise yapının çevresindeki alanda tehlike oluşturmasına sebep olacaktır. Bu yüzden seçilen malzemelerin yangın dayanımının yüksek olması gereklidir. Özellikle yüksek yapılarda yanıcı özellikteki XPS, EPS, poliüretan gibi plastik türevi malzemeler kesinlikle kullanılmamalıdır.

Çizelge 4.25. Yalıtım Malzemelerine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Yalıtım Malzemesi	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması, yanarken toksik madde oluşturma	Tutuşma riski, cephede yangının yayılması	Zehirlenme ,ölüm			Yangına dayanımlı hale getirilmeli ve cepheyle teması muhakkak kesilmeli, Yüksek yapılarda kullanılmamalı	

Tez kapsamında incelenen yapılarda kullanılan yalıtım malzemeleri incelendiğinde, %25'inin önlem öncesi sarı risk grubunda olduğu tespit edilmiştir. Riskli görülen yapıların birinde XPS malzeme, diğer yapı da EPS kullanıldığı görülmüştür. Bu malzemelerin görüldüğü yapılarda yüksekliklerin az olması ve yapıların belirli kısımlarında kullanılmaması sebebiyle mavi risk grubunda incelenmiştir. Diğer yapıların %62' sinde yalıtım malzemelerinin risk oluşturmadığı görülmüştür. Bu yapıların hepsinde taş yünü malzeme kullanıldığından risk oluşmamıştır. Geri kalan yapıların yalıtım malzemeleri hakkında detaylı bilgiye ulaşılamamıştır. Önlemler sonrası ise sarı risk grubundaki %25'inin mavi risk grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Burada yalıtım malzemesiyle beraber kullanılan malzemeler ve yapı yükseklikleri göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilene bulgular doğrultusunda yanıcı yalıtım malzemesi kullanımının yangın risk faktörü oluşturduğu, önlemler alınsa da risklerin devam edeceği saptanmıştır.

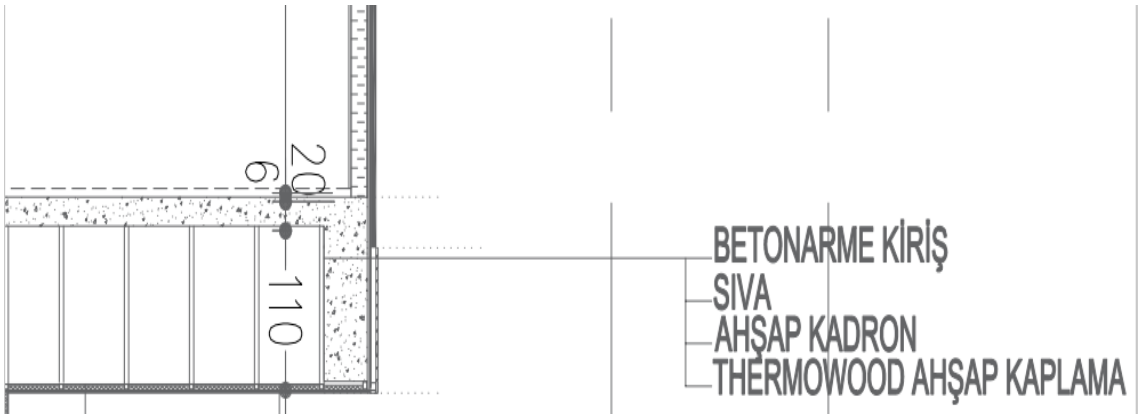
- **Cephe Kaplama Malzemesi:**

Sürdürülebilirlik kapsamında daha az ham madde kullanılarak üretilen çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler arasında cephe de kaplama malzemesi olarak kullanılanlar da mevcuttur. Tez kapsamında incelenen yapılarda kullanılan kaplama malzemeleri incelenerek yanıcılık özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Cephe sisteminin bir bütün halinde çalışması sebebiyle yalnızca sürdürülebilir kaplama malzemeleri değil, tüm cephe kaplama malzemeleri incelenmiştir. Aynı yapıda birden fazla çeşitte kaplama kullanılan yapılardaki riskleri doğru belirlemek amacıyla iki ayrı maddede verilmiştir.

Çizelge 4.26. Cephe Kaplama Malzemelerine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Cephe Kaplama Malzemesi	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski, cephede yangının yayılması	Yaralanma, ölüm			A1 Yanmaz sınıfı malzeme seçimi	

İncelenen yapılarda, sinterfleks kaplama, mermer kaplama, alüminyum kompozit panel, prekast kaplama, ahşap kaplama, doğal taş kaplama gibi çeşitli kaplamalar kullanılmıştır.



Şekil 4.24. Cephe ahşap kaplama proje detayı

İlk değerlendirme de yapıların %27'sinin önlem öncesi risk skorlarının sarı grupta olduğu, %18'inde mavi grupta olduğu görülmektedir. Geri kalan yapılarda risk oluşturacak malzeme olmadığı saptanmıştır. Sarı ve mavi risk grubundaki yapılarda, alüminyum kompozit panel ve ahşap kaplamaların kullanıldığı yapılar olup yanıcılıklarının yüksek olması sebebiyle risk oluşturur. Kaplama malzemesinin kullanıldığı alana, beraberinde kullanılan yalıtım malzemeleri ve yapı yüksekliği dikkate alınarak önlem öncesi ve sonrası risk skorları belirlenmiştir. Bu yapılarda önlem sonrası değerlerde yapıların %9'unun sarı risk grubunda, %27'sinin mavi risk grubunda olduğu gözlenmiştir. Geri kalan değerler ise kabul edilebilir risk düzeyine inmiştir. İkinci risk değerlendirmesinde, yapıların 5 tanesinde birden fazla kaplama olduğu görülmüş olup, %40'ının sarı risk, %20 'sinin mavi risk grubunda olduğu önlemlerle bu değerlerin bir alt gruba düştüğü gözlenmiştir. Sinterfleks kaplama, mermer kaplama, doğal taş kaplama, sıva+boya kullanılan yapılarda risk oluşmadığı görülmüştür. Bu skorlar doğrultusunda cephe kaplama malzemelerinden oluşan yangın risklerinin önlemlerle ortadan kaldırılamadığı tespit edilmiştir.

- **Cam Özelliği:**

Yapıların saydam yüzeylerinde ısı kaçışlarının daha fazla olduğu bilinmektedir. Sürdürülebilirlik kapsamında enerjinin korunumu ve ısıtma yüklerinin azaltılması amacıyla ısı kontrol ve iklim kontrol camları gibi çeşitli camlar kullanılmaktadır. Kaplamalı camlarda güneş ışığının yansıyarak dağılması, çift cam, temperli cam, iklim kontrol camları vb. çeşitli camlarda acil durum müdahalelerinde camın dayanımı

sebebiyle müdahalenin gecikmesi gibi yangın risk faktörü oluşturmaktadır. Bu doğrultu da yapılarda kullanılan cam tipleri incelendiğinde, yapıların tamamında mavi grupta risk oluşturduğu saptanmıştır. Alınan yangın güvenlik önlemleri ve acil durum senaryolarında Yangın erişimi planlandığından bu risklerin kabul edilebilir seviyeye düştüğü gözlenmiştir. Camlarda sürdürülebilirlik kapsamında yapılan değişikliklerin yangında müdahale düşünüldüğü takdirde risk oluşturmadığı kanısına varılmıştır.

- **Pencere Kasa Kanat Malzemesi:**

Yapılarda güneş ışınlarından daha fazla yararlanmaya yönelik saydam yüzeylerin artışı giydirme cephe sistemlerinin kullanımını beraberinde getirmiştir. Bu sistemlerde genellikle alüminyum veya PVC profiller kullanılmaktadır. Yanıcılık özelliği bulunan PVC malzemenin cephe sistemlerinde yangın dayanımı arttırılarak kullanılması gerekmektedir. Tez kapsamında incelenen yapılarda bulunan kasa kanat malzemelerinin değerlendirmesinde; ilk risk skorlarında %45'inin sarı risk grubunda, %45'inin mavi risk grubunda olduğu geri kalan %10'luk kısımda risk olmadığı tespit edilmiştir. Yapı da kullanım şekli ve alınan yangın güvenlik önlemleriyle değerlendirildiğinde bu malzemelere ait risklerin sarı grupta risk bulunmadığı, yalnızca %18'inde uygulamanın eksik yapılması sebebiyle mavi grupta riskler oluşturduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak, yapılarda malzemenin yangın yalıtımı yapılarak ve doğru uygulamalar ile risklerin ortadan kaldırılabileceği saptanmıştır.

- **Çift Kabuk Cephe Sistemi:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte enerjinin korunumu, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması amacıyla çift kabuk cephe sistemleri yapıldığı görülmektedir. Bu sistemler doğrudan çevre etkisinin azaltılarak istenen ölçüde sıcaklık ve havanın iç ortama geçişini sağlamaktadır. Çift kabuk cephe sistemleri ihtiyaca göre farklı şekillerde tasarlanır fakat temelde uygulanan iki ayrı kabuk arasındaki hava akımından ötürü ciddi bir yangın risk faktörü oluşturduğu bilinmektedir. Çift kabuk sistemler kendi arasında çeşitlenir ve yangın karşısındaki riskleri de değişmektedir.

Çizelge 4.27. Çift Kabuk Sistemlere ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Çift Kabuk Sistem Özelliği	Cephe boyunca devam eden boşluğun yangın anında alevlerin, duman ve zehirli gazların üst katlara taşınması	Yangının yayılması, Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm			Katlarda yangın esnasında düşeyden yatay konuma geçen kapakçık sistemi bulundurulmalı, Yatay yangın kesiciler kullanılarak katlar arası geçiş önlenmeli	

Tez kapsamında incelenen yapıların yalnızca bir tanesinde çift kabuk cephe sistemin rastlanmıştır. Bu yapıda belirlenen tehlike çizelge de detaylandırıldığı şekildedir. Bu yapının ilk risk skor değeri en yüksek riskli kırmızı grupta iken, yapının mevcut durumu göz önüne alındığında ikinci risk değerinin sarı grupta olduğu gözlenmektedir. Risk skoru değerlendirmesiyle birlikte çift kabuk cephe sistemlerinin oluşturduğu yangın riskinin düşürülebildiği fakat yangın riskini daima arttırdığı saptanmıştır.

- **Güneş Kırıcılar:**

Sürdürülebilirlik uygulamaları ile birlikte yapılan uygulamalardan biri güneş kırıcılardır. Yapılarda görsel konfor ve soğutma ihtiyacının azaltılması amaçlanarak tasarlanan güneş kırıcılarda malzemelerin yangın dayanımı yüksek tercih edilmesi gerekmektedir. Yapı da yangın yükü ve yangının cephede taşınması gibi riskleri doğurmaktadır.

Çizelge 4.28. Güneş kırıcılar ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Güneş Kırıcılar	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli	

Bu açıdan tez kapsamında incelenen yapılarda güneş kırıcı uygulamasına ait risk faktörleri hesaplanmıştır. Yapıların yalnızca %27'sinde kullanılan bu sistemin B1 sınıfı

malzemeden yapılması sebebiyle sarı risk grubunda incelenmektedir. İkincil değerleri ise alınabilecek bir önlem bulunmadığından aynı kalmıştır.

- **Tenteler:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında güneşin istenmeyen etkilerinden korunmak için tentelerin kullanıldığı bilinmektedir. Dış cephe de bulunması ve genelde tekstil malzemeleri kullanıldığından, malzemelerin yanıcılığının yüksek oluşu risk faktörü oluşturmaktadır.

Çizelge 4.29. Tenteler ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Tenteler	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması				Kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli	



Şekil 4.25. PVC Tente örneği

İncelenen yapıların yalnızca birinde tente kullanımı mevcut olup, PVC türevi kullanılan bu malzemenin ilk değerlerinin sarı risk grubunda olduğu ve herhangi bir yalıtım olmadığından ikincil risk skorunun yine aynı kaldığı saptanmıştır.

4.1.6.Çatı Elemanları ve Katmanları

Yapıların dış ortam ile iç ortam ilişkisini belirleyen kısımlardan bir diğeri olan çatılarda, güneş ve rüzgâr gibi tükenmeyen enerjilerin aktif kullanılarak ısıtma-soğutma-aydınlatma yüklerinin azaltılması amacıyla çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Ayrıca daha az hammadde kullanımı ve hafif malzemeler seçilerek taşıma yükünün azaltılması için çeşitli çatı sistemi elemanları ve yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu doğrultuda kullanılan malzemeler ve sürdürülebilirlik uygulamalarından yangın riski oluşturabilecek olanlar, 5 ayrı başlıkta 9 ayrı yangın risk faktörü açısından incelenen yapılarda değerlendirilmiştir.



Şekil 4.26. Çatı elemanları ve katmanlarına ait alt başlıklar

Çizelge 4.30. Yapıların Çatı elemanları ve katmanlarına ait yangın risk skor tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Termin al Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzemeleri Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
Çatı Konstrüksiyonu	8	4	1	1	6	3	8	8	1	1	1	1	1	1	15	10	1	1	12	8	1	1
Çatı Konstrüksiyonu	X	X	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Yalıtım Malzemesi	b	b	1	1	12	12	12	12	12	4	12	4	1	1	8	4	6	3	b	b	8	4
Yalıtım Malzemesi	X	X	X	X	X	X	6	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kaplama Malzemesi	1	1	1	1	12	12	20	15	1	1	1	1	6	3	1	1	6	3	1	1	8	8
Kaplama Malzemesi	X	X	X	X	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Yeşil Çatı	X	X	X	X	X	X	X	X	6	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Işık Geçirgen Sistemler	1	1	X	X	15	10	X	X	8	4	1	1	10	5	20	10	10	5	X	X	12	8
Işık Geçirgen Sistemler	1	1	X	X	8	4	X	X	8	4	1	1	1	1	8	4	8	4	X	X	6	3

- **Çatı Konstrüksiyonu:**

Yapılarda sürdürülebilirlik doğrultusunda kullanılan hafif malzemeler ve daha az ham madde kullanılarak oluşturulan yapı sistem elemanları bulunmaktadır. Çatının konstrüksiyonunu oluşturan elemanlarda bu özelliklere uygun olurken yanıcılık özellikleri bakımından risk faktörü oluşturabildikleri gözlenmektedir. Ahşap çatı sistemleri ve çelik çatı sistemlerinde malzemelerin yangına dayanıklı hale getirilmesi büyük önem arz eder.

Çizelge 4.31. Çatı Konstrüksiyonuna ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Çatı Konstrüksiyonu	Sistem elemanlarının yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Yangın yalıtımının yapılması, Yangın kesici katman kullanılması	

İncelenen yapılarda çatı konstrüksiyonlarının %18'inin sarı risk grubunda, %27'sinin mavi risk grubunda olduğu saptanmıştır. Geri kalan yapılarda yangın açısından risk oluşturacak bir sistem bulunmamaktadır. İlk değerlerinde riskli olan yapıların ise, ikinci değerlerine bakıldığında, %9'unun sarı grupta, %20'sinin mavi grupta kaldığı gözlenmiştir. Diğer yapılarda riskler kabul edilebilir düzeylere gerilemiştir. Risklerin aynı kaldığı yapılarda ahşap çatı konstrüksiyonun birlikte kullanıldığı elemanlarında yanıcılık özellikleri bulunması, çelik konstrüksiyon elemanlarında ise yangın yalıtımı yapılmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, çatı konstrüksiyon elemanlarında ahşap veya çelik gibi yanıcılık özelliği olan elemanların yalıtımlarının yapılarak yangın risklerinin kabul edilebilir seviyelere düşürülebileceği görülmektedir.

- **Yalıtım Malzemesi:**

Sürdürülebilir yapılarda enerjinin korunumu ve ısıtma yüklerinin azaltılması amacıyla çatı sistemlerinde yalıtım malzemelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu sistemlerde kullanılan malzemeler arasında yanıcılık özelliği bulunan malzemeler de bulunmaktadır. Bu sebeple inceleme kapsamındaki yapıların çatı sistemlerinde kullanılan yalıtım malzemeleri tespit edilerek riskler değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.32. Çatı Yalıtım Malzemesine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Yalıtım Malzemesi	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Yangın dayanımı yüksek malzeme seçimi, yangın yalıtımı için ayrı bir katman kullanılmalı	

İncelenen yapıların çatılarında yalıtım malzemesi olarak, poliüretan, XPS ısı yalıtımı, yalıtımlı gaz beton gibi malzemeler kullanılmıştır. Bu yapılarda betonarme teras çatı olup, üzerinde 3-4 ayrı katman bulunması halinde yanıcılık özelliği olan poliüretan ve XPS malzemelerinde risk gözlenmemiştir. Bu doğrultuda Yapıların %45'inde risklerin sarı grupta, %33'ünde risklerin mavi grupta olduğu gözlenmiştir. Bu malzemelerin önlem sonrası değerleri ise malzemenin çatı elemanlarının bir bütün olarak kesit halinde incelenmesiyle değerlendirilmiştir. Önlem sonrası değerlerde ise, sarı risk grubundaki yapıların oranı %22, mavi risk grubunda yapı bulunmamıştır. Risk değerleri aynı kalan yapılarda, beraberinde kullanılan malzemelerin de yanıcı olması sebebiyle risklerin düşmediği tespit edilmiştir. Çatı sistem kesitinde yalıtım elemanından sonraki yapı elemanının yanıcılık özelliği olmadığı durumlarda yangın risklerinin kabul edilebilir seviyelere düştüğü belirlenmiştir.

- **Çatı Kaplama Malzemesi:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında doğal malzemelerin kullanılması, ısı kayıplarını önlemek, daha hafif malzemelerle yapıyı dış etkilerden korumak gibi sebeplerden çatı kaplamalarında çeşitli malzemeler kullanıldığı bilinmektedir.

Çizelge 4.33. Çatı Kaplama Malzemesine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Kaplama Malzemesi	Malzemenin yangın dayanımının düşük olması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Yangın dayanımı yüksek malzeme seçimi, yangın kesici katman kullanılması	



Şekil 4.27. Poliüretan dolgulu alüminyum levha kullanılan çatı kesiti

Tez kapsamında incelenen yapılarda kiremit çatı kaplama, poliüretan dolgulu alüminyum levha (sandviç kaplama), trapez sac levha üzeri membran kaplama, çinko kaplama; teras çatılarda ise seramik kaplama ve çakıl taşı kullanıldığı görülmüştür. Bu doğrultuda poliüretan dolgulu alüminyum levhanın risk oluşturduğu, trapez sac levhada sac malzemenin belirli bir kalınlıkta olması gerekmektedir. Yapıların %18'inin kırmızı ve sarı risk grubunda olduğu,%27'sinin ise mavi risk grubunda olduğu görülmüştür. Geri kalan yapılarda kullanılan kaplama malzemeleri teras çatıda çakıl taşı, seramik; eğimli çatılarda kiremit, çinko kaplama gibi yanıcılık özelliği olmayan malzemeler kullanıldığından riskleri yoktur. Önlemlerden sonraki ikincil değerlerde ise yapıların %18'inin sarı risk grubunda, %9'unun mavi risk grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Sarı ve kırmızı grupta bulanan yapılarda malzemelerin ve beraberindeki malzemelerin yanıcılık özellikleri taşıması sebebiyle risklerin düşmediği gözlenmiştir. Bu doğrultu da yapılarda çatı kaplama malzemelerinin yanıcılığı yalnızca yalıtımlı bir malzemeyle birlikte kullanıldığında risklerin kabul edilebilir düzeye gerileyeceği görülmüştür.

- **Yeşil Çatı:**

Sürdürülebilir çevre oluşturmak adına yapılan uygulamalardan biri olan yeşil çatılardır. Bu uygulama yapılı çevre de yeşil alanların oranını arttırmak maksadıyla yapılmaktadır.

Bu sistemlerin sürdürülebilirliğe katkıları bilinmektedir. Fakat sistemin yangın ile ilgili risk faktörü oluşturabileceği bilinmektedir. Bu uygulamalar yapılırken yangın güvenliği amacıyla, tasarım aşamasında alınması gerekli önlemleri bulunmaktadır. Bunun haricinde uçucu yağ, reçine gibi yangında duman ve parçacık oluşturabilecek bitkiler seçilmemeli ve tutuşma riskine karşı düzenli aralıklarla bakımları yapılarak, bitkilerin kuruması önlenmelidir.

Çizelge 4.34. Yeşil çatı ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Yeşil Çatı	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Sistem ile yapı arası yangın duvarı/ bölmeler kullanılmalı ya da geniş açıklık bırakılmalı Bitkiler seçilirken uçucu yağ, reçine içermemesi, yüksek nemli olmamasına dikkat edilmeli	

Yeşil çatı sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan inceleme de yapıların yalnızca bir tanesinde yeşil çatı uygulaması kullanıldığı görülmüştür. Bu yeşil çatı sistemine ait risk değerlerine bakıldığında ilk risk değeri mavi risk grubunda, ikincil risk değeri kabul edilebilir grupta gözlenmiştir. Sistemin kurulu olduğu teras çatı ile yakın mesafedeki diğer bloklardaki çatılar arasında herhangi bir engel bulunmadığı için risk faktörü mavi tespit edilmiştir. Fakat mevcut durumda yeşil çatı kurulu alanda bitkilerin henüz büyümemiş olması sebebiyle mevcut durumda risk kabul edilebilir düzeydedir.

- **Işık Geçirgen Sistemler:**

  Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında, gün ışığından maksimum oranda faydalanılması ve iç ortama temiz hava sağlamak amacıyla ışık geçirgen çatı sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemler yangın riskleri açısından incelendiğinde iki ayrı risk faktörü bulunmuştur. Bunlardan ilki kullanılan sistem elemanlarında yanıcılık özelliği olan elemanların bulunmasıdır. Şeffaf malzemelerde PVC türevi polikarbon malzemeler, taşıyıcı sistemlerde ise çelik malzemelerin yalıtımsız kullanılması gibi çeşitlenmektedir. Bir diğer risk faktörü ise sistemlerin

açılabilen kısımları var ise bu bölümlerde yangın anında iç ortama oksijen sağlanarak yangının hızlanmasına sebep olmasıdır.





Şekil 4.28. Polikarbon malzeme ışık geçirgen sistem örneği

Çizelge 4.35. Işık geçirgen çatı sistemleri ile ilgili yapı tespit formu verileri

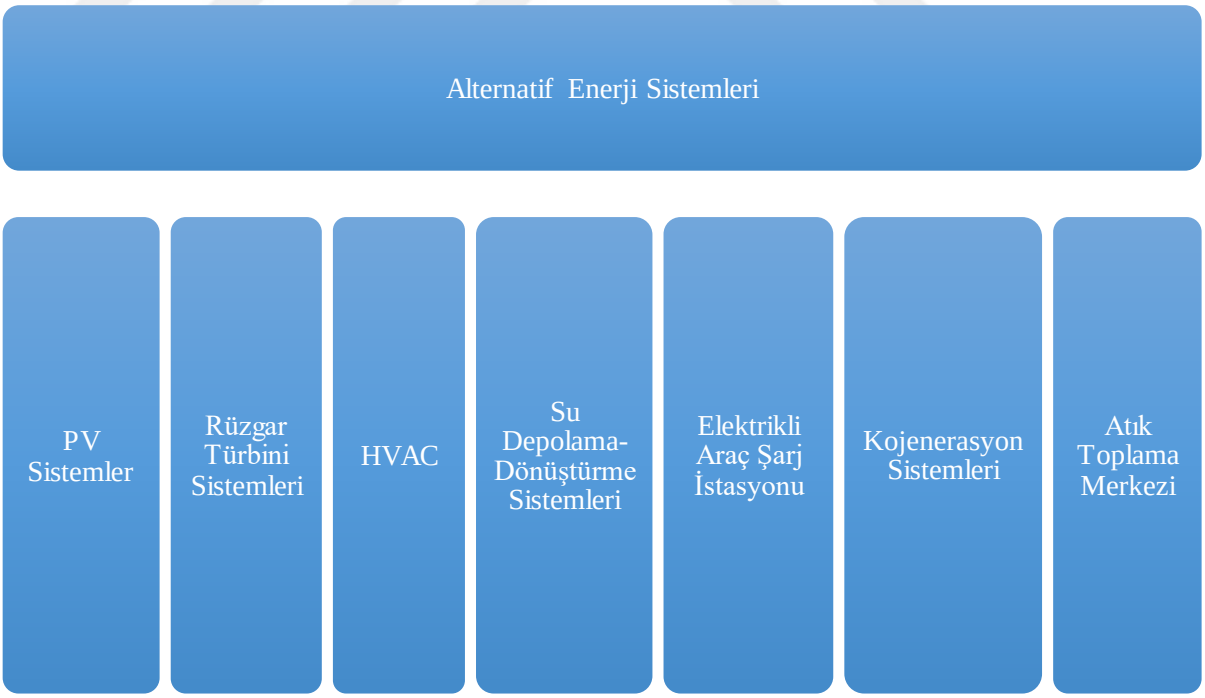
SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Işık Geçirgen Çatı Sistemleri	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Kullanılan şeffaf malzeme ve taşıyıcı strüktürün yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli	
Işık Geçirgen Çatı Sistemleri	Ortama oksijen sağlaması	Alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Yağmurlama sistemi	

Tez kapsamında incelenen yapılarda, sistem elemanlarının yanıcılığına ait değerlendirme şu şekildedir; ilk risk faktörlerinde yapıların %45'inde risk skorları kırmızı ve sarı risk grubunda, %10'da risk skorları mavi grupta yer almaktadır. Yapıların %20'sinde sistemlerin risk oluşturmadığı, geri kalan yapılarda ise sistemin kullanılmadığı görülmüştür. Önlem sonrası bu değerlerin %20 sarı risk grubu, %27 mavi risk grubuna geri kalanının kabul edilebilir risklere düştüğü gözlenmektedir. İkincil risk skorları yüksek olan yapılarda yanıcı malzemelerin kullanılması, yangın yalıtımı yapılmaması

sebeplerden risklerin düşmediği gözlenmiştir. İkinci risk faktörüne bakıldığında yapıların %45'inin ilk aşamada mavi risk grubunda olup, yakınında yangın algılama ve söndürme sistemleri bulunduğundan ikincil risklerin kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Geri kalan yapılarda ise sistemin açılabilir şekilde tasarlanmadığından risk yoktur.
Bu doğrultuda risk faktörlerine bakıldığında yanıcı malzemelerin riskini yalıtım yapılmadan düşürülemediği ortaya çıkmıştır.

4.1.7. Alternatif Enerji Sistemleri

Yapılarda ısıtma-soğutma-havalandırma ve aydınlatma gibi ihtiyaçların her birinde elektrik ya da doğalgaz gibi sistemler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra doğal kaynaklardan olan su 'da kullanıcıların temel ihtiyaçlarındandır. Bahsedilen ihtiyaçların doğal ve tükenmeyen kaynaklardan sağlanması ve kaynakların verimli kullanılmasına yönelik yapılarda alternatif enerji sistemlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu sistemlerin incelenmesinde planlanan; hidrojen yakıt pili güç sistemleri ve pervaneler yapılarda bulunmadığından risk skor tablosundan çıkarılmıştır. Bu sistemlerin oluşturabileceği yangın riskleri açısından 7 ayrı başlıkta 11 farklı yangın risk faktörü belirlenmiştir.



Şekil 4.29. Alternatif enerji sistemleri özelliklerine ait alt başlıklar

Çizelge 4.36. Yapıların Alternatif enerji sistemlerine ait yangın risk skor tablosu

	Camii		Tekstil Fabrikası		Alışveriş Merkezi		Kamu Yapısı		Hastane		Ofis Binası (Yüksek Yapı)		Terminal Binası		Kongre Merkezi		Yapı Malzemeleri Fabrikası		Ofis Yapısı		Teknoloji Merkezi	
Fotovoltaik Sistemler	X	X	15	10	X	X	X	X	8	4	X	X	X	X	X	X	X	X	15	10	X	X
Fotovoltaik Sistemler	X	X	1	1	X	X	X	X	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	20	15	X	X
Fotovoltaik Sistemler	X	X	12	12	X	X	X	X	10	5	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	X	X
Rüzgâr Türbini Sistemleri	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8	4	X	X
Rüzgâr Türbini Sistemleri	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8	4	X	X
HVAC	b	b	15	10	8	4	3	3	3	3	3	3	3	3	15	10	1	1	8	4	3	3
Su Depolama-Dönüştürme Sistemleri	b	b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Su Depolama-Dönüştürme	b	b	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrikli Araç Şarj İstasyonu	X	X	6	3	8	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8	4	X	X
Kojenerasyon Sistemleri	b	b	X	X	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	b	b	X	X	3	3	X	X
Atık Toplama Merkezleri	b	b	6	3	15	5	1	1	1	1	9	3	1	1	10	10	1	1	b	b	10	5

- **Fotovoltaik Sistemler:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında doğal ve tükenmeyen enerji kaynaklarından yararlanmak amacıyla fotovoltaik sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler güneşten aldığı enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek yapılardaki enerji ihtiyacının bir kısmının bu şekilde karşılanmasını sağlamaktadır. Bu sistemler yangın riskleri açısından incelendiğinde üç ayrı risk oluşturabildiği gözlenmektedir. Bu riskler ise şu şekildedir; sistemin ürettiği enerjinin invertöre geçerken elektrik kablolarında kısa devre oluşma ihtimali tutuşma başlatabilir, ayrıca sistem güneşten enerji aldığı için acil durumlarda da kablolardan enerji akımı devam edebilir. İkinci risk, fotovoltaik sistemin cephede kullanılması halinde cephe ile fotovoltaik paneller arasındaki boşluk yangın anında şaft görerek yangının hızlanmasına sebep olabilir. Üçüncü risk ise, sistem elemanlarının yanıcı olması sebebiyle yangın yükünü arttırmasıdır. Bu risklerin üçü de ciddi yangın riskleri olup, sistemler tasarlanırken göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 4.30. Korunumlu kablo kullanılan PV panel sistemi örneği



Şekil 4.31. Korunumlu kablo kullanılmayan PV panel sistemi örneği

Çizelge 4.37. Fotovoltaik sistemlere ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Fotovoltaik Sistemler	Kısa devre ihtimali	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Şebekeye bağlı olan/olmayan sistemlerde acil durum elektrik kesintisi sağlanması, invertör ile mesafenin kısa tutulması	
Fotovoltaik Sistemler	Cephe ve sistem arası şaft boşluğun baca görevi görmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Cephede yatay yangın bariyerleri kullanılmalı	
Fotovoltaik Sistemler	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması, çatının çökme riski	Yaralanma, ölüm				

Tez kapsamında incelenen 11 yapının, üç tanesinde fotovoltaik panel uygulaması görülmüştür. Riskler kapsamında incelendiğinde, ilk risklerin üç yapının ikisinde sarı risk grubunda bir tanesinde mavi risk grubunda olduğu gözlenmiştir. Önlem sonrası risk değerleri ise sarı risk grubundaki yapılarda aynı kalırken, mavi risk grubundaki yapının kabul edilebilir düzeye düştüğü gözlenmiştir. Risk değerleri düşen yapının, sistem elemanlarının acil durumlarda elektrik kesintisi mevcut, invertöre olan mesafesi oldukça kısa ve panellerden çıkan tüm kablolar korunumlu şekilde geçtiği gözlenmiştir. Diğer yapılarda invertöre olan mesafe uzaklığı, elektrik kablolarının korunumlu olmaması gibi sebeplerden risklerin yüksek halde kaldığı belirlenmiştir. İkinci risk faktörüne bakıldığında, fotovoltaik sistem bulunan üç yapıdan yalnızca bir tanesinde panellerin cepheye kurulduğu gözlenmiştir. Bu yapı da yangın risklerinin kırmızı risk skorundan sarı risk skoruna gerilediği görülmektedir. Fotovoltaik paneller ile giydirme cephe sistemi arasında boşluk bulunması sebebiyle kırmızı risk grubunda tespit edilmiştir, bazı katlarda döşemenin panellere kadar gitmesi sebebiyle mevcut risk sarı grupta incelenmiştir. Üçüncü risk faktörlerine bakıldığında, sistem elemanlarına ait riskin üç yapıda da sarı risk grubunda olduğunu, önlem sonrası incelemelerde yapıların ikisinin sarı risk grubunda, bir tanesinin mavi risk grubunda incelendiği gözlenmiştir. Riskin gerilediği yapı da invertörün kapalı ve korunumlu bir alanda bulunması, sistem elemanlarının kullanıcıların erişemeyeceği şekilde çatıda yer alması ve tüm kabloların korunumlu oluşu etkili olmuştur.

- **Rüzgâr Türbini Sistemleri:**

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın azaltılması için yapılan çeşitli uygulamalardan biri de rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü rüzgâr türbini sistemleri olmaktadır. Bu sistemin de özellikleri bakımından taşıdığı çeşitli yangın riskleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki yapılara entegre edilen rüzgâr türbini sistemlerinin bulunduğu bölgede hava akımını yönlendirerek duman ve alevlerin yayılmasına sebep olması, ikincisi ise sistem üzerinde enerji akışı sebebiyle meydana gelebilecek kısa devre de tutuşma başkama ihtimalidir. Bu sistemler tasarlanırken hava akımına etkisi düşünülerek yapılarda yoğun olmayan ve yanıcı malzeme kullanılmayan bölgelerde türbinler kurulmalı ve acil durumlarda sistemden

doğan elektriğin kesilmelidir. İkinci risk faktörü içinde acil durumlarda kesinti yapılması gereklidir.

Çizelge 4.38. Rüzgâr türbini sistemlerine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Rüzgâr Türbini Sistemleri	Hava akımını yönlendirmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Acil durumlarda otomatik ve manuel elektrik kesintisi sağlanması	
Rüzgâr Türbini Sistemleri	Kısa devre ihtimali	Elemanların tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Acil durumlarda otomatik ve manuel elektrik kesintisi sağlanması	

Tez kapsamında incelenen yapıların yalnızca bir tanesinde rüzgâr enerjisini kullanan bir sistem bulunmaktadır. Rüzgâr türbinlerine göre daha basit bir sistem olan rüzgâr gülü kullanılmıştır. Bu sistemin ilk ve ikinci riskler açısından ilk değerleri mavi risk grubunda, ikinci riskleri de kabul edilebilir risk grubunda bulunmuştur. Sistemin ölçek ve enerji üretimi olarak yapıda etkisinin az olması sebebiyle ilk riskleri mavi grupta olduğu saptanmıştır. Acil durumlarda elektrik kesintisinin sağlanması sebebiyle önlem sonrası riskler kabul edilebilir grupta olduğu belirlenmiştir.

- **HVAC:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında enerjinin verimli kullanılmasına yönelik, enerji tasarruflu çeşitli ısıtma-soğutma-havalandırma sistemleri kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle büyük ölçekli yapılarda ısıtma-soğutma yüklerinin doğalgaz gibi tükenen kaynaklar yerine sulu sistemler kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Bu amaçla ısı kazanları, soğutma kuleleri gibi çeşitli sistemler yapıda bulundurulmaktadır. Ölçek olarak büyük olan bu sistemlerin, yanma ve patlama riskleri de yüksek olduğundan yapılarda bu doğrultuda önlemler alınarak kullanılması gerekmektedir. Sistemler bodrum katlarda yada teknik katlarda kurgulanırken yangına dayanıklı kompartıman içerisinde yer almalı yada tamamıyla yapıdan bağımsız şekilde dışarıda konumlandırılmalıdır.

Çizelge 4.39. HVAC sistemine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
HVAC	Sistemlerin yangın yükü	Yangın riski, patlama riski	Yaralanma, ölüm			Açık mekânda bulunması veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunması	

Tez kapsamındaki 11 yapının hvac sistemleri incelendiğinde, yapıların %20'sinde sistemlerin sarı risk grubunda, %20'sinin mavi risk grubunda olduğu gözlenmektedir. Geri kalan yapılarda risk oluşturabilecek bir durum görülmemiştir. Yapıların önlem sonrası risk değerlerine bakıldığında, sarı risk grubunda olan yapıların aynı oranda kalırken, mavi risk grubundaki yapıların önlemlerle kabul edilebilir risklere gerilediği gözlenmiştir. Sarı risk grubunda olan hvac sistemlerinin, yapıların bodrum katlarında bulunduğu ve çevrili olduğu yangın kompartımanının yangın dayanımının kısa süreli olması sebebiyle risklerin mevcut olduğu görülmüştür. Yerinde önlemler alındığında sistemlerin kullanımında risk oluşmadığı, yanlış tasarlanan sistemlerde yangın riski oluşturacağı bilgisine ulaşılmıştır.

- **Su Depolama ve Dönüştürme Sistemleri:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında enerji kaynaklarının verimli kullanılması büyük önem taşır. Bu amaçla kullanılan sistemlerden biri ise yağmur sularının toplanması ve atık suların dönüştürülerek tekrar kullanılmasını sağlayan su depolama-dönüştürme sistemleridir. Bu sistemlerin detayları incelendiğinde yangında risk oluşturabilecek iki faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerden ilki su depolama da kullanılan depoların PVC gibi yanıcı maddeden seçilmesi durumunda, depo boşken oluşturduğu yanıcılık özelliği taşımasından meydana gelmektedir. İkinci risk ise yangın depolarına giden sularda geri dönüştürülmüş atık suların kullanılması durumunda atık sularda kimyasal ve biyolojik atıklar sebebiyle yangın hızının artması olacaktır.

Çizelge 4.40. Su Depolama- Dönüştürme Sistemlerine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Su Depolama-Dönüştürme Sistemleri	PVC su deposu kullanılması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm			Betonarme ya da galvaniz su deposu kullanılmalı, PVC su deposu kullanılması halinde boş halde bırakılmamalı	
Su Depolama-Dönüştürme Sistemleri	Geri dönüşümlü sularda kimyasal ve biyolojik atık bulunması	Yangının hızlanması	Yaralanma, ölüm			Yangın borularında ve yağmurlama sisteminde arıtma su kullanılmamalı	

Su depolama ve dönüştürme sistemlerinin yapılarda kullanımı incelendiğinde, 11 yapının 10 tanesinde betonarme ya da galvaniz su depoları kullanılması sebebiyle risk faktörü oluşmadığı tespit edilmiştir. İkinci risk faktörü için yapılarda atık suların tekrar kullanımına ait alınan bilgilerde yangın su deposunda bulunan suların hiçbirinde geri dönüştürülmüş su kullanılmadığı, ayrıca geri dönüştürülmüş suların genellikle yağmur suyu ve HVAC sistemlerinden çıkan sular ile sağlandığı tespit edilmiş olup bu 10 yapıdaki sistemlere ait risk bulunamamıştır.

- **Elektrikli Araç Şarj İstasyonu:**

Sürdürülebilirlik kapsamında tükenebilir enerji kaynaklarının kullanımının azaltılmasına yönelik elektrikli araçlar kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu araçların kullanım oranını arttırmak amacıyla yapılarda elektrikli araç şarj istasyonları kurulmaktadır. Bu yapılar tasarım aşamasında kurulabildiği gibi sonradan da eklenebilen sistemlerdir. Uygulamanın yangın açısından riskine bakıldığında sistem için kullanılan kablolarda elektrik akımı geçtiğinden kısa devre ihtimali bulunmaktadır. Bunun yanı sıra araçlar şarj edilirken normalin üstünde ısındıkları bilinmektedir. Bu doğrultuda sistem elemanları seçilirken halojensiz kablolar kullanılmalı, acil durumlarda sistemde elektrik kesintisi sağlanmalıdır.

Çizelge 4.41. Elektrikli araç şarj istasyonu ile ilgili yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Elektrikli Araç Şarj İstasyonu	Kısa devre ihtimali ve araçların fazla ısınması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm			Acil durumlarda elektrik kesintisi sağlanması Yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılmalı	

Tezde incelenen yapılara bakıldığında, yalnızca 3 yapıda bu sistemin kurulu olduğu görülmüştür. İstasyonlar incelendiğinde ikisinin ilk değerlendirme de mavi risk grubunda olduğu, önlemler ile değerlendirildiğinde yangın algılama ve söndürme sistemlerinin bulunması, halojensiz kablo kullanımı ve acil durum elektrik kesintisi bulunduğundan kabul edilebilir risk grubuna düştüğü gözlenmiştir. Diğer yapı da ise elektrikli şarj istasyonunun açıkta bulunması sebebiyle riskli bulunmamıştır.

- **Kojenerasyon Sistemleri:**

Yapılarda sürdürülebilirlik kapsamında enerjinin korunumu ve verimli kullanılması amacıyla kullanılan sistemlerden biri kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleridir. Özellikle büyük ölçekli yapılarda kullanılan kojenerasyon sistemleri, elektrik ve ısıyı eşzamanlı üreterek, ısı kayıplarının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Sistem yangın açısından değerlendirildiğinde olası bir yangında büyük bir yangın yükü oluşturduğu bilinmektedir. Bu sebepten sistemlerin korunumlu bir yangın kompartımanı ya da yapı dışında açık bir alanda kullanılması riski ortadan kaldırır.

Çizelge 4.42. Kojenerasyon sistemlerine ait yapı tespit formu verileri

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Kojenerasyon Sistemleri	Yangın yükü	Yangının yayılması	Yaralanma, Ölüm			Açık mekânda bulunması veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunması	

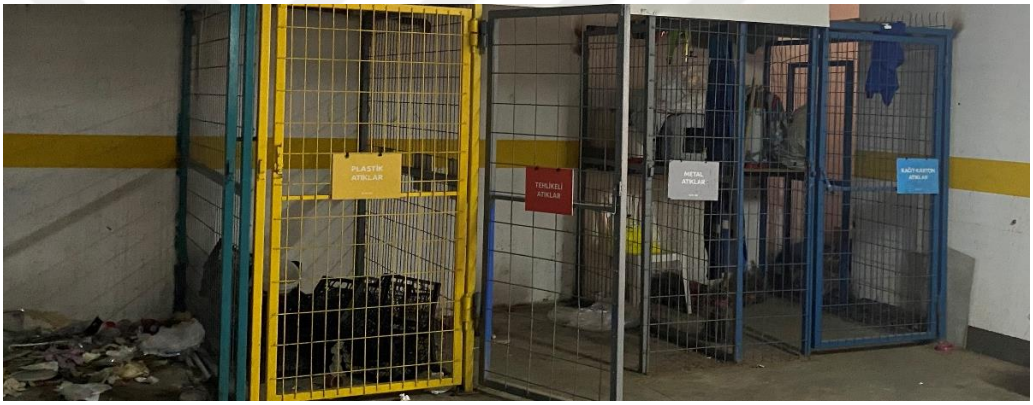
Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri, tez kapsamındaki yapılarda incelendiğinde 11 yapının 6 tanesinde bu sistemlerin kullanıldığı görülmüştür.6 yapının tamamında sistemlerin açık mekânda veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunduğu tespit edilmiş olup herhangi bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

- **Atık Toplama Merkezleri:**

Sürdürülebilirlik kapsamında çevreye verilen zararı azaltmak için geri dönüşümün önemi büyüktür. Bu amaçla yapılarda atıkların ayrıştırılarak geri dönüşüme gönderilmesini sağlayan atık toplama merkezleri oluşturulmaktadır. Bu merkezlerde toplanan atıkların bir arada bulunması o alanda yangın yükü oluşmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 4.43. Atık toplama merkezleri ile ilgili yapı tespit formu verileri

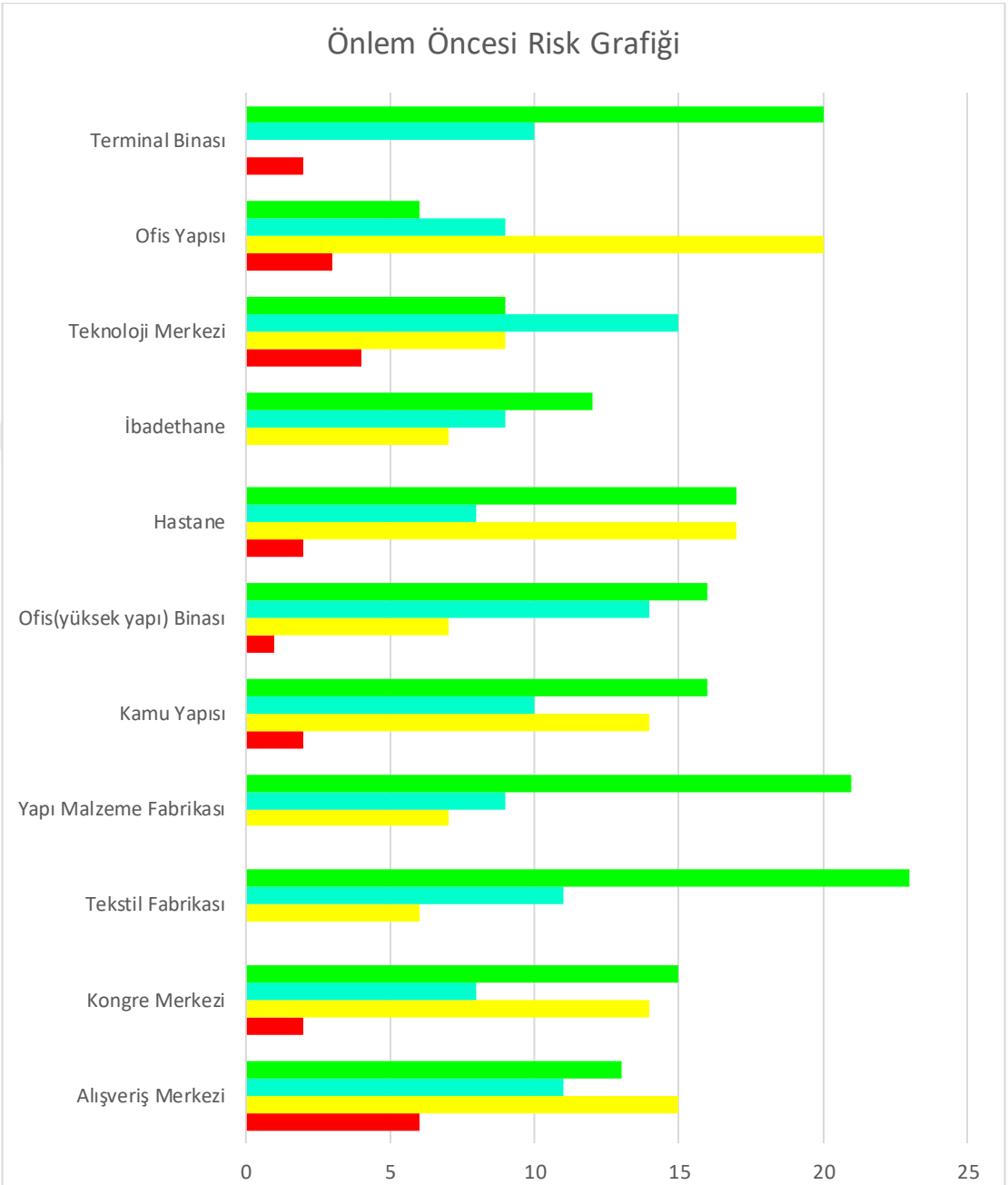
SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	S	ÖNLEM	S
Atık Toplama Merkezleri	Yangın yükü	Yandığında zehirli gaz ve toksik madde yayma	Zehirlenme			Kapalı bir hacimde bulunmalı ,düzenli aralıklarla boşaltılmalı	



Şekil 4.32. Kapalı hacimde bulunmayan atık depolama sistemi

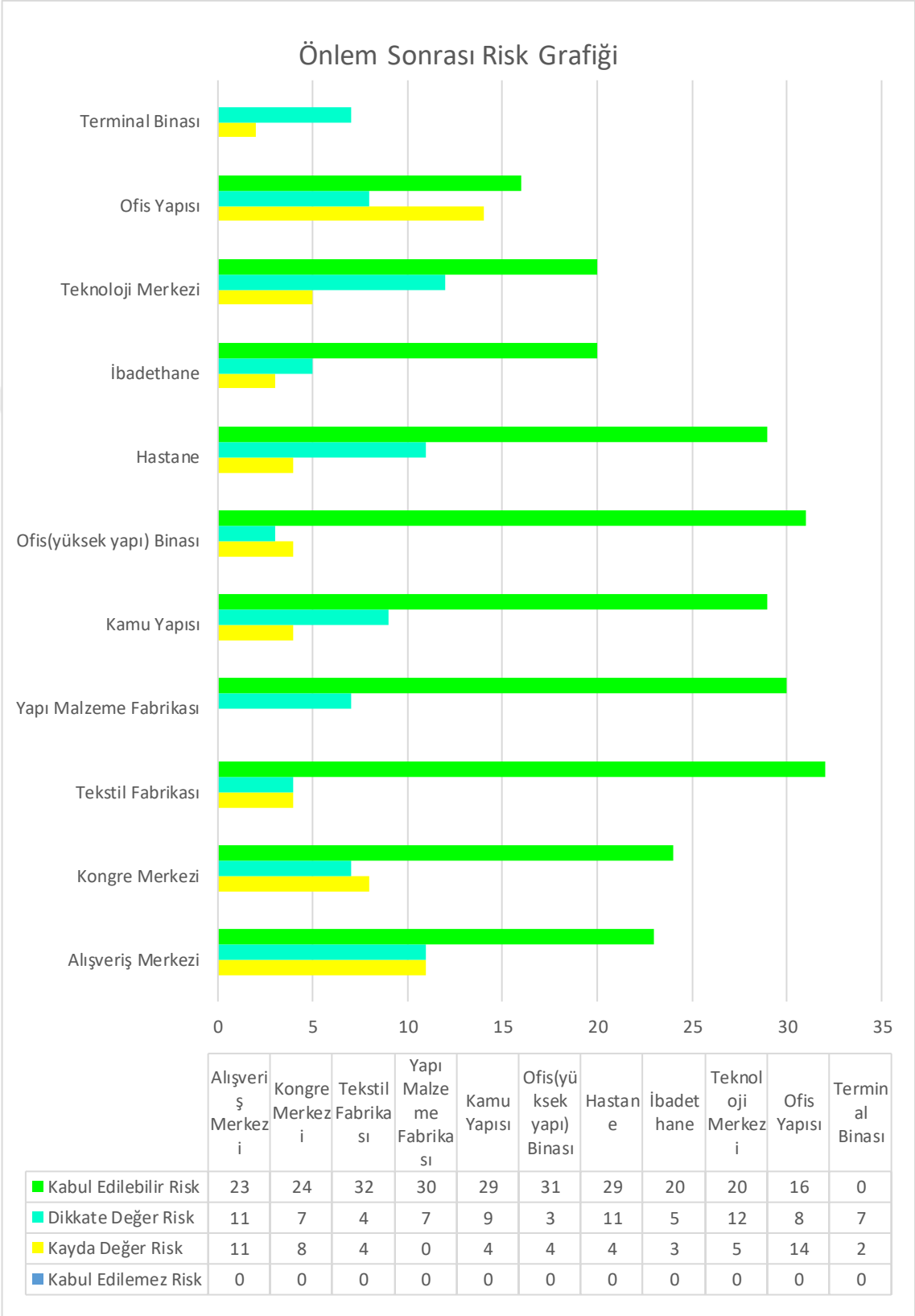
Yapılarda atık toplama merkezleri incelendiğinde, ilk aşamada yapıların %33'ünün sarı risk, %22'sinin mavi risk grubunda olduğu görülmektedir. Geri kalan yapılarda risk faktörü tespit edilmemiştir. Önlem sonrası risklerde ise yapıların %11'inin sarı risk grubunda olduğu, %22'sinin mavi risk grubunda olduğu görülmektedir. Sarı risk grubundaki yapıların atık toplama merkezlerinin kapalı bir hacimde olmadığı görülmüştür. Mavi risk grubundaki yapılarda kısmen kapalı hacimde bulunması sebebiyle risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Atık toplama merkezlerinin yapı dışında konumlandığı yapılarda risklerin düştüğü gözlenmiştir. Her bölüm başlığında ayrı olarak ele alınana uygulamalar, sistemler ve kullanılan malzemelerin oluşturduğu yangın risklerinin bina genelinde önlem öncesi ve önlem sonrası grafikleri ise aşağıda detayları verildiği üzeredir.

Çizelge 4.44. İncelenen yapıların önlem öncesi yangın risk grafiği



	Alışveriş Merkezi	Kongre Merkezi	Tekstil Fabrikası	Yapı Malzeme Fabrikası	Kamu Yapısı	Ofis(yüksek yapı) Binası	Hastane	İbadethane	Teknoloji Merkezi	Ofis Yapısı	Terminal Binası
Kabul Edilebilir Risk	13	15	23	21	16	16	17	12	9	6	20
Dikkate Değer Risk	11	8	11	9	10	14	8	9	15	9	10
Kayda Değer Risk	15	14	6	7	14	7	17	7	9	20	
Kabul Edilemez Risk	6	2	0	0	2	1	2	0	4	3	2

Çizelge 4.45. İncelenen yapıların önlem sonrası yangın risk grafiği



	Alışveriş Merkezi	Kongre Merkezi	Tekstil Fabrikası	Yapı Malzeme Fabrikası	Kamu Yapısı	Ofis(yüksek yapı) Binası	Hastane	İbadethane	Teknoloji Merkezi	Ofis Yapısı	Terminal Binası
Kabul Edilebilir Risk	23	24	32	30	29	31	29	20	20	16	0
Dikkate Değer Risk	11	7	4	7	9	3	11	5	12	8	7
Kayda Değer Risk	11	8	4	0	4	4	4	3	5	14	2
Kabul Edilemez Risk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. SONUÇ

Yıllar içinde gelişen yapım teknolojileri ve kentleşmenin artışı, yapılı çevrede tüketilen ham madde ve enerjinin artmasına neden olmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için yalnızca fosil yakıtların kullanılması, enerji kaynaklarının yenilenebilir özellikte olmaması sebebiyle süreklilik arz etmeyecek bir çözümdür. Bu doğrultuda yapıların, tasarım ve kullanım süreçleri boyunca harcayacağı enerjinin azaltılması ve ihtiyaç duyulan enerjinin alternatif kaynaklardan kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Sürdürülebilirlik kapsamında yapılarda alınan tasarım kararları, kullanılan yapı malzemeleri ve sistemleri enerji açısından değerlendirildiğinde çevreye faydalı oldukları bilinmektedir. Fakat sistemler değerlendirilirken, acil durumlar yönünden de değerlendirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik uygulamaları yangın riskleri açısından değerlendirildiğinde yangında tutuşma riski olan, yangının hızlanmasına ve yayılmasına sebep olan, müdahaleyi güçleştiren, tahliyeye engel olan çeşitli uygulamaların bulunduğu görülmüştür. Olası bir yangında sürdürülebilirlik uygulamalarının yukarıda bahsedilen etkileri, çevreye çok daha büyük zararların verilmesine sebep olacaktır. Bu doğrultuda yangın riski oluşturan uygulamalar belirlenerek önlemlerin alınması uygulamaların doğru şekilde yapılması ve risklerin düşürülmesinde büyük önem taşımaktadır.

Tez kapsamında 11 yapı üzerinde yangın riski oluşturabileceği belirlenen yapı malzemesi, sistem ve uygulamalar değerlendirilmiştir. Yapılarda sistemin tek başına oluşturduğu ve yangın güvenlik önlemleriyle birlikte mevcut durumdaki riskleri belirlenmiştir. İnceleme; yapı tasarım özellikleri, donatı malzemeleri, alan seçimi ve yerleşimi, yapı elemanları ve katmanları, cephe özellikleri, çatı elemanları ve katmanları, alternatif enerji sistemleri başlıkları altında toplanmıştır. Bu başlıklarda önlem öncesi ve sonrası en riskli görülen uygulamaların yapı tasarım özelliklerinde bulunduğu saptanmıştır. Risklerin kabul edilebilirlik oranının en fazla olduğu başlık ise donatı malzemeleridir. Bu doğrultuda yapının tasarım kararları alınırken yangın güvenliğinin göz önünde bulundurulması gerekli olduğu anlaşılmıştır.

Başlıklar ayrı ayrı değerlendirildiğinde her konu başlığında en riskli görülen uygulamalar şu şekildedir;

- Yapı tasarım özellikleri başlığında yatay ve düşeyde açık alan,
- Donatı malzemelerinde iç mekân bitkilendirme,
- Alan seçimi ve yerleşimi başlığında binanın yerleşimi,
- Yapı elemanları ve katmanları başlığı altında zemin katmanları ve akustik yalıtım,
- Cephe özellikleri başlığında kaplama malzemeleri ve çift kabuk cephe sistemleri,
- Çatı elemanları ve katmanları başlığında yalıtım ve ışık geçirgen çatı sistemleri,
- Alternatif enerji sistemlerinde fotovoltaik sistemler olduğu görülmüştür.

Bu uygulamalardan doğan yangın risklerinin özelliklerine bakıldığında; yangının yayılmasına imkân sağlaması, malzeme ve sistem elemanlarının yanıcı olması, itfaiye erişimini engellemesi sebepleri görülmektedir. Risklerin önlem öncesi ve sonrası sayısal değerlerine bakıldığında yangın güvenlik önlemlerinin riskleri ancak belirli ölçüde düşürebildiği saptanmıştır. Sürdürülebilirlik kapsamında yapılan uygulamaların belirli bir standarda tabii olması ve kendi aralarında sınıflandırılabilmesi amacıyla ülkeler kendi sertifika sistemlerini oluşturmuştur. En bilinenleri LEED, BREEAM, DGNB ve Green Stars sertifikalarıdır. Ülkemizde de bu kapsamda binalar ve yerleşimler için yeşil bina sertifika yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yeşil binalar, sürdürülebilir uygulamalar ve sertifika sistemleri yaygınlaşmasına rağmen uygulamaların meydana getirdiği yangın riski konusundaki araştırmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür.

Yapıların tamamı incelendiğinde genel itibariyle yangın konusunda en büyük risk faktörlerinin belirli noktalarda yoğunlaştığı görülmüştür. Öncelikle yapılar tasarımları açısından değerlendirildiğinde; her biri büyük ölçekli olan bu yapılarda sirkülasyon alanlarının bütün halde tasarlanması, çalışma alanlarının açık ofisler halinde tasarlanması, birden fazla blok halinde tasarlanan yapılarda bloklar arası geçişler sağlanması, yapıların düşeyde hava sirkülasyonuna sebep olacak galeri boşlukları ve atriumlu şekilde tasarlanması yangın açısından yüksek risk oluşturmaktadır. Düşey ve yatay düzlemde oluşan bu boşluklar olası bir yangında ortaya çıkan alevlerin ve dumanın yayılmasını ciddi şekilde hızlandırarak, yangının kısa süre içerisinde büyümesi ve zehirli gazların bütün hacmi doldurmasına sebep olacaktır. Büyüyen yangın ve zehirli gazların yayılması

insanların can güvenliğini tehlikeye sokacaktır. Bu sebeple yapılar tasarım süreçlerinde yangın riski göz önünde bulundurularak hacimlerin sınırlandırılması gerekmektedir.

Yine yapının tasarım ve inşaat sürecinde belirlenen bazı yapı malzemeleri de yüksek yangın risk faktörü oluşturmaktadır. Yapı elemanları ve katmanlarının seçimlerinde, sürdürülebilirlik kapsamında kullanılan malzemelerde; yanıcı malzeme kullanılması, yangın davranışı bilinmeyen malzemelerin seçilmesi, malzemenin yangın yalıtımının yapılmadan uygulanması, yangın anında zehirli gaz çıkaran malzemelerin seçilmesi, kompozit halde kullanılan malzemelerde yanıcı bileşen bulunması yangın risklerinin ciddi bir şekilde artışına sebep olmaktadır. Olası bir yangında yanıcı özelliği bulunan malzemeler tahliye güçlüğü, yaralanma ve ölümlere sebebiyet verecektir. Bu sebeple yapı da kullanılan malzemelerin seçiminde öncelikle malzemelerin yangın dayanımı göz önünde bulundurulmalı, risklerin yüksek olduğu ve kısıtlı tahliye imkanlarının bulunduğu yapılarda yanıcı malzeme kullanılmamalıdır.

Yapının tasarım süreçlerinde alınan kararlardan biri olup yangın anındaki riskleri yüksek oranda etkileyen bir diğer faktör ise yapıya erişimdir. Yapı da meydana gelen bir yangında saniyeler bile insan hayatını etkilemektedir. Yangının büyümeden söndürülmesi ve kullanıcıların tümünün tahliye edilebilmesi ancak zaman faktörünün doğru kullanılabilmesi ile mümkün olacaktır. Bu doğrultuda sürdürülebilirlik kapsamında, yapının cephesine itfaiye aracının erişimini kısıtlayacak her türlü yapı tasarımları ve yapının bulunduğu araziye itfaiye aracının erişimine engel olan vaziyet planlamalarının mutlak surette önüne geçilmelidir. Yangın anında yapıya erişimi engelleyecek ya da aksatacak olan ufak bir engelin birçok insanın canını tehlikeye atacağı unutulmamalıdır.

Yapılan bu tez çalışmasında sürdürülebilirlik uygulamalarının yangın açısından oluşturduğu riskler araştırılmış olup, yapılar üzerinde riskler sayısal verilerle ortaya konulmuştur. Ayrıca önlem öncesi ve önlem sonrası olarak iki başlık altında verilen risk analizleri değerlendirildiğinde yüksek risklerin oluşabileceği uygulamalarda yangın güvenlik önlemleri alınmasının yangın riskinin düşürülmesinde büyük rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu risklerin analiz edildiği yapıların tümünde yapım yılına göre BYKHY (binaların yangından korunması hakkında yönetmelik) kapsamında gerekli maddeleri

yerine getirecek şekilde inşa edildiği ve kullanılmakta olduğu görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda sürdürülebilirlik kavramıyla beraber oluşan yangın riskleri mevzuatta konuyla ilgili önlem ve kısıtlamaların bulunmaması sebebiyle görülmüştür. Bu risk faktörlerinin ortadan kaldırılabilmesi veya azaltılması amacıyla konu hakkında yapılan çalışmaların artarak bilinç kazanılması gerekmektedir. Bu doğrultuda malzeme ve sistem üreticilerinin ürünlerin yangın risklerini göz önünde bulundurarak yangın güvenliğini sağlayacak şekilde geliştirmeleri beklenmektedir. Mimar ve mühendislerin bilinçlendirilmesi, tasarım ve uygulama aşamalarında sürdürülebilirlik uygulamalarındaki yangın risklerine karşı koruyucu önlemler alınması gerekmektedir. En önemlisi yürürlükteki yangın yönetmeliğine sürdürülebilir yapılardaki yangın riskleri için aktif ve pasif yangın güvenlik önlemlerinin eklenmesi, uygulamaların yanıcılık seviyelerine göre tehlike sınıfı yüksek yapılarda kullanımının kısıtlanması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Akıncı, H. (2007). *Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri özellikleri uygulama teknikleri ve fiyat analizleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Akova, İ. (2003). Dünya enerji sorunu ve yenilenebilir enerji kaynakalarının kullanımı. *Coğrafya Dergisi, Sayı 11, s. 47-73, İstanbul, 2003.* Erişim Adresi: https://www.acarindex.com/pdfs/288306

Aksungur, M.K. Kurban, M. ve Filik, Ü.B. (2013). Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi. *EVK'2013 Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli.* Erişim Adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/4e2e247969185c8_ek.pdf

Amani, A. ve Niyazi, A. Q. (2018). Türkiye'de prefabrik yapı sektörünün hızlı gelişimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(3), 487 – 494, 2018.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/543451

Anonim (t.y.). *Binalarda enerji performansı yönetmeliği*. Erişim Adresi: https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5

Anonim. (t.y.). Enerji Kaynakları ve Elektrik. Erişim Adresi: https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=enerjikaynaklari

Anonim. (2022). Fotovoltaik Panel Sistem Elemanları. Erişim Adresi: https://solaravm.com/solar-gunes-paneli

Anonim. (t.y.). Yenilenebilir Enerji Sistemleri. Erişim Adresi: https://fbe.bingol.edu.tr/programlar_/yenilenebilir-enerji-sistemleri/

Ay, Ş. (2019). *Nükleer santrallerde yangın güvenlik sistemlerinin analizi ve geliştirilmesine yönelik öneriler* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Ayçam, İ. ve Kınalı, M. (2013). Ofis binalarında yeşil çatıların ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkilerinin analizi. *Tesisat Mühendisliği - Sayı 135 - Mayıs/Haziran 2013.* Erişim Adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f7761934e26b1dd_ek.pdf?dergi=1352

Aydın, Ö. ve Bayraktar Marangoz, D. (2022). Mimaride sürdürülebilir malzeme "Bambu" *Bodrum Sanat Ve Tasarım Dergisi Bodrum Şubat|February 2022* Cilt. Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2226193

Bénichou, N. ve Sultan, M. A. (2001). Thermal propertıes of components of lıghtweıgth Wood-Framed assemblıes elevated temperatures. Fire and Materials 2001, *7th*

International Conference, pp. 447-458 Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/44057071_Thermal_properties_of_components_of_lightweight_wood-framed_assemblies_at_elevated_temperatures

Boduroğlu, Ş. ve Kariptaş, F.S. (2010). Akıllı binalarda enerji etkin kabuk tasarımı. *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi,4-5 Mart 2010.* Erişim Adresi: https://www.academia.edu/36379149/AKILLI_B%C4%B0NALARDA_ENERJ%C4%B0_ETK%C4%B0N_KABUK_TASARIMI

Bonomo, P., Saretta, E., Frontini, F., Caccivio, M., Bellenda, G., Manzini, G. & Cancelliere, P. Fire Safety of PV Modules and Buildings: Overviews, Bottlenecks and Hints. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Session 6BV.1.37, 2017. 2299 - 2303.

Bozasky, D. (2010). The historical development of thermal insulation materials. *Periodica polytechnic, 41(2),49-56.* Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/274110149_The_historical_development_of_thermal_insulation_materials

Cam. (t.y.). *Vikipedi içinde*. Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam

Canpolat, Ş. (2013). *Rüzgar enerjisi ve Isparta şartlarında prototip bir rüzgar türbini tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Çakır, A. (2020). Lityum-İyon bataryalı enerji depolama sistemleri için yangın koruması -1. *Makale*. Erişim Adresi: https://www.linkedin.com/pulse/lityum-iyon-bataryalı-enerji-depolama sistemleri-için-adem-çakır/

Çakır Kıasıf, G. (2012). Enerji etkin çift kabuk cephe sistemleri. *X. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu.* Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/328450581_ENERJI_ETKIN_CIFT_KABK_CEPHE_SISTEMLERI_ENERGY_EFFICIENT_DOUBLE_SKIN_FACADE_SYSTEMS

Çelik, A. Ender, E. ve Zencirkıran, M. (2015). Dikey bahçe ve Türkiye'deki uygulamaları. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 8 (1): 67-70, 2015.*

Demirarslan, Ü. (t.y). *Yapılarda Yangın Güvenliği.* Yayımlanmamış Ders Notu, Mimarlık, Maltepe Üniversitesi İstanbul

Demirci, E. Özkaymak, M. Koşan, M. Akkoç, A. E. ve Aktaş, M. (2020). Doğal soğutucu akışkan kullanımında gelişmeler. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020, 6(3): 184-199.* Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/348046108_Dogal_Sogutucu_Akiskan_Kullaniminda_Gelismeler

Demirel, F. ve Altındaş, S. (2005). Yapı elemanlarının yangına dayanım performanslarının Avrupa Birliği direktiflerine göre sınıflandırılması ve konunun

Türkiye – Avrupa genelinde irdelenmesi. *Politeknik Dergisi Cilt: 8 Say: 4 s. 381-395, 2005*. Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/384496

Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi Cilt:14 Sayı: 2 s. 121-134, 2011*. Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/385588

Dinsdale, S. Pearen, B. ve Wilson, C. (2006). ‘‘Feasibility study for green roof application on Queen’s University Campus’’. *Queen’s Physical Plant Services, 9-12.*

Elibüyük, ve U. Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum e-dergi yıl 2014/Cilt 2/Sayı 3.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/204144

Genç, Y. Aktaş, E. Atay, O. Hepbaşlı, A. Bıyık, E. Araz, M. ve Eren, M. E. (2017). Fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımı için bütünleşik bir metodolojinin geliştirilmesi ve bir uygulama. *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 19-22 Nisan 2017/İzmir.* Erişim Adresi: http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2017/05/2017-085.pdf

Gültekin A. B. ve Dikmen, Ç. B. (2009). Sürdürülebilir yapı tasarımı kapsamında mimari tasarım sürecinde akıllı bina kavramına bakış. *Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi: Doğa, Kent ve Sürdürülebilirlik.* Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/315810373_Surdurulebilir_Yapi_Tasarimi_Kapsaminda_Mimari_Tasarim_Surecinde_Akilli_Bina_Kavramina_Bakis_Intelligent_Building_Concept_in_Architectural_Design_Process_within_the_Scope_of_Sustainable_Building_Design

Güneş, M. (2020). *Öğrenci barınma hizmeti veren binalarda yangın güvenlik önlemleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Gür, Z. (2004). *Bursa Kapalıçarşı’da yangın sorunu ve yapısal açıdan alınması gereken önlemler* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Hansen, A. C. ve Butterfield, C. P. (1993). “Aerodynamics of HorizontalAxis Wind Turbines” *Annual Review of Fluid Mechanics, Vol.25, 1993*

Hatipoğlu, A. (2011). *Dış cephe uygulamalarında profil çekme metodu ile üretilen cam fiber takviyeli plastiklerin kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

İnce, G. İnce, H. H. Kaya, F. (2015). Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6(1): 43-47 (2015)* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/181679

İZODER. (t.y.). Yalıtım camı üniteleri. Erişim Adresi: https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitim_cami_uniteleri.pdf

Kabuloğlu, S. (2006). Yeşil çatıların ekolojik yönden değerlendirilmesi. *Sempozyum.* Erişim Adresi: http://catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_9.pdf

Kantaroğlu, F. (2010). Fotovoltaik sistemler. *Makale TTMD Temmuz •Ağustos 2010.* Erişim Adresi: https://file.ttmd.org.tr/makale/68-1.PDF

Karadağ, H. İ. (2009). *Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin önemi ve rüzgar türbini tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Karataş, B. (2004). *Sürdürülebilir mimarlık bağlamında çok katlı ofis binalarında ekolojik tasarım ilkelerinin irdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Kendirli, Z. Karamanoğlu, Y. E. ve Özbilger, H. İ. (2020). Tesislerde yangına karşı risk seviyelerinin hesaplanması: Askeri Tesis Örneği. *Araştırma Makalesi Afet ve Risk Dergisi 3(1), 2020, (1-19).* Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/341190551_Tesislerde_Yangina_Karsi_Risk_Seviyelerinin_Hesaplanmasi_Askeri_Tesis_Ornegi

Kılıç, A. (2008). Çelik Taşıyıcıların Yangın Yaltımı. *Yangın Dergisi Sayı 118, s.8-12.* Erişim Adresi: http://www.yangin.org/dosyalar/celik_tasiyicilarin_yalitimi.pdf

Kılıç, A. (2012). Cephe kaplamaları ve cephe yangın güvenliği. *Yangın Ve Güvenlik Sayı 152.* Erişim Adresi: http://www.yangin.org/dosyalar/cephe_yanginlari_ve_yonetmelik.pdf

Kılıç, A. (2013). Alışveriş merkezleri duman kontrol sistemleri. *Makale.* Erişim Adresi: http://www.yangin.org/dosyalar/alisveris_merkezlerinde_duman_kontrolu.pdf

Kılıç, A. (2018). Gelişmiş ülkelerde ve Türkiye'de yangın istatistikleri. *Yangın ve Güvenlik Dergisi, Sayı 199, s.8-10, 2018.* Erişim Adresi: http://www.yangin.org/dosyalar/yg199-sf8-10-gelismis-ulkelerde-ve-turkiyede-yangin-istatistikleri.pdf

Kobalaş, G. D. (2015). *Mevcut bir konutun enerji etkin geliştirilmesine yönelik bir çalışma.* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Laukamp, H., Bopp, G., Grab, R., Wittwer, C., Haeberlin, H., van Heeckeren, B., Phillip, S., Reil, F., Schmidt, H., Sepanski, A., Thiem, H. & Vaassen, W. (2013). PV Fire Hazard – Analysis and Assessment of Fire Incidents. 28th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Session 5BV.7.71. Paris, France

Liu, K. (2004). ''Sustainable Building Envelope - Garden Roof Sistem Performance, NRCCNRC''. *RCI Building Envelope Symposium Nov 4-5: 1-14, New Orleans (2004).*

Loncour, X. Deneyer, A. Blasco, M. Flamant, G. ve Wouters, P. (2004). Ventilated Double Facades :classification and illustration of façade concepts. *Belgian building research institute*

Lu, W. ve Sun, J. (2021). Thermal response of low-E and float glass facades under various heating rates. *The 9th Global Conference on Materials Science and Engineering.* Erişim Adresi:
https://www.researchgate.net/publication/349386103_Thermal_response_of_low-E_and_float_glass_facades_under_various_heating_rates
Mazman, M. ve Yılmaz, H. Y. (2019). Enerji depolama çözümleri ve genel eğilimler. *Gündergi Haziran-Temmuz-Ağustos 2019 • Sayı-466.* Erişim Adresi: https://docplayer.biz.tr/185312284-Medeniyet-tarihi-enerji-kaynaklarini-kesfetme.html

Meacham, B. McNamee M. (2020). Fire safety hallenges of 'Green' buildings and attributes. ErişimAdresi: https://www.nfpa.org/~/media/Files/News%20and%20Research/Fire%20statistics%20and%20reports/Building%20and%20life%20safety/RFGreenBuildings2020.pdf

Narin, M. ve Akdemir S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. *Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*

Ngan, G. (2004).''Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design''

Nurbay, N. ve Çınar, A. (t.y.). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması.

Oruç, P., Şimşek Z., (2019, Haziran). Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Yangın Risklerinin Örnek Yangınlar Üzerinden İncelenmesi. 6th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences, Ankara/Turkey.

Örkmez, A. S. (2012). *Çift kabuk cephe sistemlerinde ısıl konforun değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Örkmez, A. S. ve Çetiner, İ. (2012). Çift kabuk cephe sistemlerinin iç mekan ısıl konforuna etkisi. *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 12 – 13 Nisan 2012 Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi - Görükle Kampüsü – Bursa.*

Özcan, U. (2019). Yapıda HVAC sistem seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 23, Sayı 1, 212-217, 2019.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article file/702652

Özer N. ve Özgünler, S. A. (2019). Yapılarda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin performans özelliklerinin duvar kesitleri üzerinde değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 2019.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/uumfd/issue/45830/438738

Özkaya, K. Ilce, C. A. Burdurlu, E. ve Aslan, S. (2007). The effect of potassium carbonate, borax and wolmanit on the burning characteristics of oriented strandboard (OSB). *Construction and Building Materials*: 1457-1462

Özkılıç Ö. (2014). Risk değerlendirmesi ATEX direktifleri-patlayıcı ortamlar, büyük endüstryel kazaların önlenmesi ve etkilerinin azaltılması-kantitatif risk değerlendirme. *Seveso II ve Seveso III Direktifi, (Birinci Baskı), TİSK, Ankara, 2014*

Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *Sunum.* Erişim Adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf

Pak, E. ve Orhon, A. V. (2019). Yapı cephelerinde enerji üreten aktif rüzgar sistemlerinin kullanımı.Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/339777119_YAPI_CEPHELERINDE_ENERJI_URETEN_AKTIF_RUZGAR_SISTEMLERININ_KULLANIMI

Poırazıs, H. (2004). 'Double skin facades for office buildings'
Rüstemli, S. Dinçer, F. Çelik, M. ve Cengiz, M. S. (2013). Fotovoltaik paneller: Güneş takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleri. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2(2), 141-147, 2013.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/41705

Rüzgâr türbini. (t.y.). *Vikipedi içinde.* Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini

Sayın, S. (2006). *Yenilenebilir enerjinin ülkemiz yapı sektöründe kullanımın önemi ve yapılarda güneş enerjisinden yararlanma olanakları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Sauerbruch, M. (2011). "Sustainable architecture", *Detail Green English, 1, pp. 26–31*

Sev, A. (2009). 'Sürdürülebilir Mimarlık'. *YEM Yayınları, İstanbul, 30-126 (2009).*

Shishegar, N. (2013). Green Roofs: Enhancıng Energy And Envıronmental Performance Of Buıldıngs. *International Conference on Clean Energy, September 10-12, 2012, Quebec, Canada*. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/271206483_GREEN_ROOFS_ENHANCING_ENERGY_AND_ENVIRONMENTAL_PERFORMANCE_OF_BUILDINGS

Short, M. (2011). Fuel Cell Development Status. Erişim Adresi: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/apu2011_7_short.pdf

Şenkal, F. (2002). *Yapıda giydirme cephe sisteminin kullanımında optimal konfor koşullarının sağlanması için performans kriterlerin araştırılması* (Doktora Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Tanık, A. (2017). Yağmur suyu toplama, biriktirme ve geri kullanımı. *Su Kaynakları ve Kentler Konferansı Kahramanmaraş 25-27 Ekim 2017.* Erişim Adresi: https://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2017/11/Prof.-Dr.-Aysegul-TANIK.pdf

Tavşan, C. Şahiner Tufan, A. ve Tavşan, F. (2022). Ekolojik malzeme olan ahşapla yapılan çok katlı yapılar. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi 7(1), 2022, (291-309).* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2062624

Tekin, Ç. (2012). Enerji etkin yapılarda malzeme kullanımı. *Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi, 14, 46-52.* Erişim Adresi: https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/enerji-etkin-yapilarda-malzeme-kullanimi_21365.html#.Y48W0HZByMo

Tidwell, J. ve Murphy, J. J. (2010). Bridging the Gap– Fire safety and green buildings. Erişim Adresi: https://sustainable-fire-engineering.sustainable-design.ie/wp-content/uploads/2015/04/NASFM_Fire-Safety-Green-Buildings_2010.pdf
Toydemir, N. Gürdal, E. ve Tanaçan L. (2000). Yapı elemanı tasarımında malzeme. *Literatür Yayıncılık, İstanbul.*

Tuğrul F.ve Sev, A. (2015). Geleceğin sürdürülebilir yapı teknolojilerine bir bakış: Hafif strüktürler. *2nd Internatıonal Sustaınable Buıldıngs Symposıum.* Erişim Adresi: http://www.isbs2015.gazi.edu.tr/belgeler/bildiriler/304-308.pdf

Ulukavak Harputlugil, G. ve Kılınç, B. (2016). Enerji verimli bina tasarım stratejileri. *El Kitabı.* Erişim Adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu845.pdf

Uyar, F. (2016). "Solar Panel Çeşitleri Nelerdir?"

Ünlü, G. (2010). *Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri seçimi, tasarımı ve enerji analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/ Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Ünlü Çelebi, G. ve Tosun, S. (2011). Bütünleşik mimarlık sistemleri: Rüzgar türbinlerinin yüksek binalar ile bütünleşik tasarımı. *Politeknik Dergisi Cilt:14 Sayı: 3 s. 179-186, 2011.* Erişim Adresi: https://www.acarindex.com/pdfs/485371

Üstün, G. E. ve Tırpancı, A. (2015). Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 20, Sayı 2, 2015.* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/202923

Varlık, A. (t.y.) *Topoğrafya.* Yayımlanmamış ders notu, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
Vyas, S. Ahmed, S. ve Parashar, A. (2014). BEE (Bureau of Energy Efficiency) and green buildings. *International Journal of Research, 1, 23-32.*

Wilson, A. G. ve Brown, W. P. (1988). "Thermal characteristics of double windows". Window performance and new technology national research council, *Canada, sayfa: 134-*

146. Erişim Adresi: https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=afdd2d5b-3d4f-4dbe-b667-c33566a22dc2

Yesügey, C. Yılmaz Karaman, Ö. ve Güzel, N. "Ahşap malzemeli konut teknolojisi". *Yalın Yayıncılık, 1. B., İstanbul 2014.* Erişim Adresi: https://books.google.com.tr/books/about/AH%C5%9EAP_MALZEMEL%C4%B0_KONUT_TEKNOLOJ%C4%B0S%C4%B0.html?id=AeOwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=tr&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Yoruç, A. B. H. ve Uğraşkan, V. (2017). Yeşil polimerler ve uygulamaları. *Akü Femibid 17 (2017) 017102 (318-337.).* Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/632961

Yorulmaz, G. (2001). *Yangından korunma ve binalarda yangın güvenliği önlemleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/
Yu, W. (2019). Experimental and numerical study of glass façade breakage behavior under fire conditions. *Doctoral Thesis accepted by the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.*

Yüksek, İ. ve Esin, T. (2011). Yapılarda enerji etkinliği bağlamında doğal havalandırma yöntemlerinin önemi. *Tesisat Mühendisliği - Sayı 125 - Eylül/Ekim 2011* Erişim Adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/137adc331dcfb9e_ek.pdf?dergi=1187

Yüksel, Ü. D. (2005). ''*Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolijik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi üzerinde bir araştırma''* (Doktora Tezi). Erişim Adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Zorer Gedik, G. (2017). *Yapı kabuğunun saydam alanları için uygun cam türlerinin belirlenmesi,* Yayımlanmamış ders notu, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

EKLER

EK 1 **Yapı Tespit Formu**

EK 2 **Yangın Risk Analizi Formu**

YAPI TESPİT FORMU			
	Uygulama	**+/-**	**Mevcut Durum**
Tasarım Özellikleri	Düşeyde Açık Alan (Galeri boşluğu, atriumlar)		
	Yatayda Açık Alan (Açık planlı tasarım, sirkülasyon alanları)		
	Şaftların Korunumu		
	PVC Yağmur İniş Boruları		
	Doluluk-Boşluk Oranı (Saydam yüzeylerin fazla olması)		
	Pasif Soğutma		
	Düzensiz Cephe Geometrisi		
Donatı Malz.	İç Mekân Bitkilendirme		
Alan seçimi ve yerleşim	İklim Bölgesi		
	Rüzgâr Yönü		
	Binanın Yerleşimi		
	Çevre Yapılar ile Yakınlık (bitişik nizam vb.)		
	Bölgedeki Yapı Yoğunluğu		
	Kot Farkının Kullanımı		
	Zemin Altı Katlar		
	Gölgelendirme Amaçlı Peyzaj Kullanımı		
	Su Kaynaklarının Azaltılması		
Sistem Elemanları ve Katmanları	Taşıyıcı Sistem Türü		
	Duvar Katmanları		
	Artırılmış Akustik Yalıtım (reflekte panel, asma tavan)		
	Tavan Katmanları		
	Zemin Katmanları		

YAPI TESPİT FORMU			
	Uygulama	**+/-**	**Mevcut Durum**
Cephe Sistemi ve Elemanları	Cephe sistemi (Tek kabuk/çift kabuk/geleneksel)		
	Yalıtım Malzemeleri		
	Cephe Kaplama Malzemeleri		
	Cam Özelliği (Ara boşluklu/film kaplama/iklim kontrol)		
	Pencere Kasa Kanat Malzemesi		
	Yeşil Cephe		
	Çift Kabuk Sistem Özelliği (Kutu tipi/Şaft tipi/bina yüksekliğinde/kat yüksekliğinde)		
	Güneş Kırıcılar		
	Tenteler		
	Güneş Tüpleri		
	Uyarlanabilir Cephe Sistemleri		
Çatı Sistemi ve elemanları	Çatı Konstrüksiyonu		
	Yalıtım Malzemesi		
	Kaplama Malzemeleri		
	Yeşil Çatı		
	Işık Geçirgen Çatı Sistemleri (skylight)		
Alternatif Enerji Sistemleri	Fotovoltaik Sistemler		
	Rüzgâr Türbini Sistemleri		
	HVAC		
	Pervane		
	Su Depolama ve Dönüştürme Sistemleri		
	Elektrikli Araç Şarj İstasyonu		
	Kojenerasyon Sistemleri		
	Hidrojen Yakıt Pili Güç Sistemleri		
	Atık Toplama Merkezleri		

YAPI TESPİT FORMU			
Yangın Güvenlik Önlemleri	**Uygulama**	**+/-**	**Mevcut Durum**
	Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri		
	Aktif Yangın Güvenlik Önlemleri		

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Düşeyde açık alan	Hava sirkülasyonu fazla olması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm					Yağmurlama sistemi, Duman perdesi, Duman tahliye kapağı, duman kontrol sistemleri, havalandırma fanları			
Yatayda açık alan	Hava sirkülasyonu fazla olması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm					Duman perdesi, basınçlandırma sistemi, duman kontrol sistemleri, yağmurlama sistemi			
Şaftların korunumu (elektrik)	Elektrik kablolarının tutuşması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm					Halojensiz kabloların kullanılması, Bacaların dış ortam iletiminin kesilmesi, şaftlarda algılama ve söndürme sistemleri kullanımı			
Şaftların korunumu	Elektrik kablolarının tutuşması	Toksik madde açığa çıkması	Zehirlenme					Halojensiz kabloların kullanılması, Bacaların dış ortam iletiminin kesilmesi, şaftlarda algılama ve söndürme sistemleri kullanımı			
Şaftların korunumu	Elektrik kablolarının açıkta bulunması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm					Şaft içi düşey/yatay bölümlendirme ve izolasyon, Bacaların dış ortam iletiminin kesilmesi			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
PVC Yağmur iniş boruları	Dış cephede yağmur toplama sistem borularının açıkta bulunması	Alevlerin yayılması	Yaralanma, Ölüm					Yangına dayanıklı malzeme ile kapatılmalı, Hacmi sınırlandırılmalı			
Saydam yüzeylerin fazla olması	İç ortam ısısının yükselmesi	Alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Cepheye yakın yağmurlama sistemi			
Saydam yüzeylerin fazla olması	Müdahale anında iç ortam oksijen artışı	Basınç artışı dolayısıyla patlama (back-draft)	Yaralanma, ölüm					Duman tahliye sistemi bulunmalı, Yağmurlama sistemi bulunmalı			
Saydam yüzeylerin fazla olması	Alevlerin cephede hızla sıçraması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Geleneksel cephelerde katlar arası spandrel bulunmalı, Alev yönlendirici yapılmalı, Giydirme cephe boşluklu ise yangın kesici kullanımı			
Pasif Soğutma	Hava akımının yönlendirilmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Duman tahliye sistemi bulunmalı, Yağmurlama sistemi bulunmalı			
Pasif Soğutma	Duman yoğunluğundan görüş mesafesinin azalması	Tahliye güçlüğü	Zehirlenme, Ölüm					Duman tahliye sistemi bulunmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Düzensiz Cephe Geometrisi	Cephede duman ve alevlerin ilerlemesine neden olma	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Duman kesici elemanların bulunması			
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yağmurlama sistemi bulunması			
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve uçucu parçacık açığa çıkması	Yaralanma, ölüm					Uygun bitki seçimi (uçucu yağ, reçine içermeyen) Bakım yapılması			
İç mekân bitkilendirme	Ortam oksijenini arttırma	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Yakınında alevleri ileten malzeme kullanılmaması			
İklim Bölgesi	Sıcaklık artışı	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Yangın algılama ve söndürme sistemleri bulunmalı			
Rüzgâr Yönü	Yapı konumlanmasına göre yangını etkileme	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Duman tahliye sistemi bulunmalı, Yağmurlama sistemi bulunmalı			
Binanın yerleşimi	İtfaiye ulaşımına uygun olmayan yollar	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Araziye itfaiye aracı erişebilecek genişlikte ve ağırlığı taşıyabilecek yollar sağlanmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Binanın yerleşimi	İtfaiye aracının binaya erişememesi	Tahliye güçlüğü	Zehirlenme, ölüm					İtfaiye merdiveninin binaya erişimi sağlanacak şekilde tasarlanmalı			
Çevre yapılar ile yakınlık	Yangının çevre yapılara sirayet etmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yapılar arası yangın yayılmasını engelleyecek mesafe sağlanmalı Bitişik nizamlarda yangın duvarı			
Bölgedeki yapı yoğunluğu	Yoğun yerleşim alanlarında yangının hızla yayılması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın riski yüksek fonksiyonların alandan uzaklaştırılması			
Kot farkının kullanılması	Yapıya dışarıdan müdahalenin yapılamaması	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Yağmurlama sistemi, Duman kontrol ve tahliye sistemlerinin bulunması			
Zemin altı kotlar	Yapıya dışarıdan müdahalenin yapılamaması	Tahliye güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Zeminin alt kotlarında acil durum planlaması yapılmalı ve acil çıkışlar sağlanmalı			
Gölgelendirme amaçlı peyzaj kullanılması	Yangının peyzaja sirayet etmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yapı açıklıkları ve peyzaj elemanı arasında mesafe olmalı			
Su kaynaklarının azaltılması	Yangına gerekli müdahalenin yapılamaması	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Yangın söndürme için su deposu bulundurulmalı, belirli aralıklarla su seviyesi kontrol edilmeli			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Taşıyıcı Sistem Türü	Sistem elemanlarının yanıcılığı, yangın davranışının bilinmemesi	Duman ve alevlerin yayılması, Tahliye güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Taşıyıcı sistem seçilirken dikkat edilmeli, gerekli sistemlerde yangın yalıtımı yapılmalı			
Duvar Katmanları	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli, tutuşma riski olan malzemelerin yakınında bulundurulmamalı, yağmurlama sistemi bulunmalı			
Akustik Yalıtım	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli, tutuşma riski olan malzemelerin yakınında bulundurulmamalı, yağmurlama sistemi bulunmalı			
Tavan Katmanları	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli, yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılmalı			
Zemin Katmanları	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Yangının yayılması, Tahliye güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli, yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Düzensiz Cephe Geometrisi	Cephede duman ve alevlerin ilerlemesine neden olma	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Duman kesici elemanların bulunması			
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yağmurlama sistemi bulunması			
İç mekân bitkilendirme	Bitkilerde tutuşma riski	Duman ve uçucu parçacık açığa çıkması	Yaralanma, ölüm					Uygun bitki seçimi (uçucu yağ, reçine içermeyen) Bakım yapılması			
İç mekân bitkilendirme	Ortam oksijenini arttırma	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Yakınında alevleri ileten malzeme kullanılmaması			
İklim Bölgesi	Sıcaklık artışı	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Yangın algılama ve söndürme sistemleri bulunmalı			
Rüzgâr Yönü	Yapı konumlanmasına göre yangını etkileme	Yangın hızının artması	Yaralanma, ölüm					Duman tahliye sistemi bulunmalı, Yağmurlama sistemi bulunmalı			
Binanın yerleşimi	İtfaiye ulaşımına uygun olmayan yollar	Söndürme güçlüğü	Yaralanma, ölüm					Araziye itfaiye aracı erişebilecek genişlikte ve ağırlığı taşıyabilecek yollar sağlanmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Cephe Sistemi	Sistemin döşeme ile kabuk arası boşluk oluşturması	Duman ve alevlerin yayılması,	Yaralanma, ölüm					Tasarım yapılırken yangın riskleri göz önünde bulundurulmalı, gerekli hallerde yangın kesici kullanılmalı			
Yalıtım Malzemesi	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli, yanıcı özellikteki malzemeler kullanıldıysa dayanımlı hale getirilmeli ve cepheyle teması muhakkak kesilmeli			
Cephe Kaplama Malzemesi	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli			
Cam özelliği	İç ortam ısısı artışı, yansıtıcı özellikteki camlarda tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın algılama ve söndürme sistemleri bulundurulmalı			
Pencere Kasa Kanat Malzemesi	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek malzemeler seçilmeli			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Yeşil Cephe	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Uçucu yağ, reçine içermeyen/ yüksek nemli olmayan bitkiler seçilmeli, altlık elemanları yangın davranışı incelenmeli, acil durumlarda itfaiye erişimi düşünülerek tasarlanmalı			
Çift Kabuk Sistem Özelliği	Cephede oluşturduğu şaftlar ile yangının yatayda ve düşeyde taşınması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Sistem tasarlanırken kat yüksekliği ve ölçeğe göre çift kabuk sistem tipi seçilmeli, acil durumlarda itfaiye erişimi düşünülerek tasarlanmalı			
Güneş Kırıcılar	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli			
Tenteler	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli			
Güneş Tüpleri	Yangında şaft görevi görmesi	Yangının yayılması	Yaralanma, ölüm					Yağmurlama sistemi			
Güneş Tüpleri	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Döşemeyi delip geçen noktalar duman açısından yalıtılmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Uyarlanabilir Cephe Sistemleri	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli			
Uyarlanabilir Cephe Sistemleri	Elektrik akımının geçmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Şebekeye bağlı olan/olmayan sistemlerde acil durum elektrik kesintisi sağlanması			
Çatı Konstrüksiyonu	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek elemanlar seçilmeli, gerekli hallerde yanmaz malzemelerle birlikte kullanılmalı			
Yalıtım Malzemesi	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Zehirlenme ölüm					Yangın dayanımı yüksek elemanlar seçilmeli, gerekli hallerde yatayda yangın kesici elemanlarla birlikte kullanılmalı			
Kaplama Malzemesi	Yangın dayanımı düşük malzeme kullanımı	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın dayanımı yüksek elemanlar seçilmeli,			
Yeşil Çatı	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Sistem ile yapı arası yangın duvarı/ bölmeler kullanılmalı ya da geniş açıklık bırakılmalı Uçucu yağ, reçine içermeyen/ yüksek nemli olmayan bitkiler seçilmeli			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Işık Geçirgen Çatı Sistemleri	Tutuşma riski	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Kullanılan şeffaf malzeme ve taşıyıcı strüktürün yanıcılık özellikleri ve yangın davranışı incelenmeli			
Işık Geçirgen Çatı Sistemleri	Ortama oksijen sağlaması	Alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Yangın algılama ve söndürme sistemleri bulunmalı			
Fotovoltaik Sistemler	Kısa devre ihtimali	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm					Şebekeye bağlı olan/olmayan sistemlerde acil durum elektrik kesintisi sağlanması, Sistemin panel ile invertöre mesafesi kısa tutulmalı, Kablo düzeneklerinin cephe bağlantısı kesilmesi			
Fotovoltaik Sistemler	Cephe ve sistem arası şaft boşluğun baca görevi görmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Cephede yatay yangın bariyerleri kullanılmalı			
Fotovoltaik Sistemler	Sistem elemanlarının yanıcılığı	Dumanın, alevlerin yayılması ve çatının çökme riski	Yaralanma, ölüm					Şebekeye bağlı olan/olmayan sistemlerde acil durum elektrik kesintisi sağlanması Sistemin panel ile invertör mesafesi kısa tutulmalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Rüzgâr Türbini Sistemleri	Hava akımını yönlendirmesi	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Acil durumlarda otomatik ve manuel elektrik kesintisi sağlanması			
Rüzgâr Türbini Sistemleri	Enerji akımından dolayı yangın tehlikesi	Elemanların tutuşma riski	Yaralanma, ölüm					Acil durumlarda otomatik ve manuel elektrik kesintisi sağlanması			
HVAC	Sistemlerin yangın yükü	Yangın riski, patlama riski	Yaralanma, ölüm					Açık mekânda bulunması veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunması			
Pervane	İç mekânda hava akımı oluşturarak yangının taşınması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Acil durumlarda otomatik ve manuel elektrik kesintisi sağlanması			
Su Depolama-Dönüştürme Sistemleri	PVC su deposu kullanılması	Duman ve alevlerin yayılması	Yaralanma, ölüm					Betonarme ya da galvaniz su deposu kullanılmalı, PVC su deposu kullanılması halinde boş halde bırakılmamalı			
Su Depolama-Dönüştürme Sistemleri	Geri dönüşümlü sularda kimyasal ve biyolojik atık bulunması	Yangının hızlanması	Yaralanma, ölüm					Yangın borularında ve yağmurlama sisteminde arıtma su kullanılmamalı			

SİSTEM	TEHLİKE	RİSK	ZARAR	MEVCUT	ÖNLEM ÖNCESİ			ÖNLEM	ÖNLEM SONRASI		
					Olasılık	Şiddet	Skor		Olasılık	Şiddet	Skor
Elektrikli Araç Şarj İstasyonu	Halojensiz kablo kullanılması ve araçların fazla ısınması	Tutuşma riski	Yaralanma, ölüm					Yangın algılama ve söndürme sistemleri kullanılmalı			
Kojenerasyon Sistemleri	Yangın yükü	Yangın riski, patlama riski	Yaralanma, ölüm					Açık mekânda bulunması veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunması			
Hidrojen Yakıt Pili Güç Sistemleri	Sistem kaynağının yüksek yanıcılık özelliği	Yangın riski, patlama riski	Yaralanma, ölüm					Açık mekânda bulunması veya yangına dayanıklı kompartıman içinde bulunması			
Atık Toplama Merkezleri	Yangın yükü	Yandığında zehirli gaz ve toksik madde yayma	Yaralanma, ölüm					Kapalı bir hacimde bulunmalı Sık aralıklarla boşaltılmalı			