

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARDA YANGIN DAYANIMININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selen KALKIŞIM

KASIM 2023

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARDA YANGIN DAYANIMININ
İNCELENMESİ

Selen KALKIŞIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK MİMAR"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 09 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 01 / 11 / 2023

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilhan VURAL

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

“Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangın Dayanımının İncelenmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Doç.Dr.Nilhan VURAL’a, eğitim öğretim hayatımda katkısı olan tüm hocalarıma ve ortak çalışmalar yürüttüğümüz arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Hülya HOCAOĞLU ve babam Ömer HOCAOĞLU, kardeşlerim Ecren ve Mert HOCAOĞLU, ablam Şahi Nur KALKIŞIM ve sevgili eşim Yunus Emre KALKIŞIM başta olmak üzere tüm aileme destek ve anlayışları için teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Selen KALKIŞIM

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangın Dayanımının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Nilhan VURAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 01/11/2023

Selen KALKIŞIM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Çalışmanın Yöntemi.....	2
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Çok Katlı Ahşap Yapılar	4
2.2. Çok Katlı Ahşap Yapıların Tarihsel Gelişimi	5
2.3. Çok Katlı Ahşap Yapılarda Kullanılan Yapısal Malzemeler	7
2.3.1. Çapraz Lamine Ahşap (CLT).....	7
2.3.2. Tutkallı Tabakalı Ahşap (Glulam / GLT)	8
2.3.3. Çivili Lamine Ahşap (NLT).....	9
2.3.4. Ahşap Dübelli Lamine Ahşap (DLT).....	9
2.3.5. Lamine Kaplama Ahşap (LVL)	10
2.3.6. Ahşap - Beton Kompozit (TCC) Sistem	10
2.4. Yangın Kavramı ve Ahşap Malzeme	11
2.4.1. Ahşap Malzemenin Yangın Evreleri.....	12
2.4.2. Yüksek Sıcaklıkta Ahşap Malzemenin Özellikleri	14
2.4.3. Endüstriyel Ahşap Malzemelerde Kullanılan Yapıştırıcıların Yüksek Sıcaklıkta Önemi.....	14
2.4.4. Ahşap Malzemedeki Alev Geciktirici İşlemler	16
2.4.5. Ahşap Malzemelerin Yangın Sınıfları	17
2.4.6. Yangın Sırasında Ahşap Malzeme ve Diğer Yapı Elemanlarının Karşılaştırılması	18
2.5. Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangın Tasarım Süresi	19

2.5.1.	Yangın Yayılımının Kontrol Edilmesi	20
2.6.	Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangından Korunma Yöntemleri	21
2.6.1.	Pasif Yangın Önlemleri.....	22
2.6.2.	Aktif Yöntemler	25
2.7.	Kompartıman Yangınları.....	26
2.7.1.	Kompartıman Yangın Deneyleri.....	28
2.8.	Ülkelerin Ahşap Yangın Yönetmelikleri.....	30
2.8.1.	Amerika Birleşik Devletleri Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği	30
2.8.2.	Avrupa Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği.....	31
2.8.3.	Avustralya Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği	33
2.8.4.	Kanada Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği.....	34
2.9.	Analiz Çalışması.....	35
2.9.1.	Örneklerin Belirlenmesi	35
2.9.2.	Analiz Tablolarının Oluşturulması.....	35
2.9.3.	Yapı Analiz Tabloları.....	36
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	67
3.1.	Yapı ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar	67
3.2.	Strüktür Sistemi ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar	69
3.3.	Yangın Önlemleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar	71
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
4.1.	Yapı ile İlgili Sonuçlar	74
4.2.	Strüktür Sistemi ile İlgili Sonuçlar	75
4.3.	Yangın Önlemleri ile İlgili Sonuçlar	75
4.4.	Öneriler.....	76
5.	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇOK KATLI AHŞAP YAPILARDA YANGIN DAYANIMININ İNCELENMESİ

Selen KALKIŞIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Nilhan VURAL
2023, 87 Sayfa

Ahşap yapı malzemesinin diğer yapı malzemelerine göre avantajları bulunmasına rağmen çok katlı yapılarda sınırlı kullanımının başlıca sebeplerinden biri yangın dayanımının düşük olduğu görüşünün yaygın olmasıdır. Ahşabın sürdürülebilirliğe ve çevreye olan olumlu etkisinden dolayı kompozit bir malzeme olarak geliştirilmesi ve yangın dayanımı konusundaki çalışmalar, çok katlı yapıların taşıyıcı sisteminde endüstriyel ahşap malzemenin tercih nedeni olmasını sağlamıştır. Çok katlı ahşap yapılarda gerçekleştirilen yangın testlerinde, ahşabın malzeme ve yapı düzeyindeki yangın dayanım performansının tatmin edici seviyelerde olduğu ve ülke yönetmeliklerinde de kuralcı çözümlerdense performansa dayalı çözümlerin tercih edilmeye başlandığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada kapsamlı literatür araştırmaları sonucu belirlenen 14 adet çok katlı ahşap yapı; strüktür, yapı elemanı ve yapı malzemesi özelinde yangın önlemleri bağlamında değerlendirilmiş ve tablolar yardımı ile analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda ahşap malzemenin çok katlı yapılarda kullanıldığında özel önlemler gerektirdiği ve yapı yüksekliği arttıkça alınan önlemlerin de arttığı görülmüştür. Tez çalışması, endüstriyel ahşap malzemeler ile inşa edilen çok katlı yapıların üstün yangın performansı sergilediklerini göstererek bu konudaki farkındalığı artırmayı ve ahşap malzemenin çok katlı yapılarda kullanımına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok Katlı Ahşap Yapı, Yangın Önlemleri, Endüstriyel Ahşap Malzeme.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF FIRE RESISTANCE IN MULTI-STOREY WOODEN BUILDINGS

Selen KALKIŞIM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Assoc. Doç.Dr. Nilhan VURAL
2023, 87 Pages

Despite the advantages of wood as a building material compared to other construction materials, one of the main reasons for its limited use in multi-story buildings is the widespread belief that it has low fire resistance. The development of wood as a composite material due to its positive impact on sustainability and the environment, along with research on its fire resistance, has made industrial wood material a preferred choice in the structural systems of multi-story buildings. In fire tests conducted in multi-story wooden buildings, it has been observed that wood exhibits satisfactory fire resistance performance both at the material and structural levels, leading to a shift towards favoring performance-based solutions over prescriptive ones in national regulations.

In this comprehensive study, 14 multi-story wooden buildings identified through extensive literature research were evaluated in the context of fire precautions, focusing on structure, building components, and building materials, and analyzed with the aid of tables.

As a result of the study, it was observed that when wood is used in multi-story buildings, specific precautions are required, and these precautions increase as the building height rises. The thesis aims to enhance awareness on this subject by demonstrating that multi-story buildings constructed with industrial wood materials exhibit superior fire performance, thereby contributing to the use of wood materials in multi-story constructions.

Key Words: Multi-storey Wooden Structure, Fire Precautions, Industrial Wooden Material.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yöntem şeması	3
Şekil 2. Horyu-Ji Pagodası	5
Şekil 3. Ahmet Afif Paşa Yalısı	5
Şekil 4. Kelly Douglas Binası	6
Şekil 5. Murray Grove binası	6
Şekil 6. Çapraz Lamine Ahşap	8
Şekil 7. Tutkallı Tabakalı Ahşap	8
Şekil 8. Çivili Lamine Ahşap	9
Şekil 9. Ahşap Dübelli Lamine Ahşap	9
Şekil 10. Lamine Kaplama Ahşap	10
Şekil 11. Ahşap Beton Kompozit döşeme	11
Şekil 12. Alev yayılımı	13
Şekil 13. Glulam kirişte kömürleşme tabakası	14
Şekil 14. CLT malzemedeki görülen yapıştırıcı hatası.....	16
Şekil 15. Yapısal yeterlilik (R), Bütünlük (E) ve Yalıtım (I)	20
Şekil 16. Carbon12 yapısının yangın testi sonucu CLT paneldeki kömür tabakası.....	22
Şekil 17. Kapsülleme yöntemi.....	23
Şekil 18. Hibrit yapı tasarımı	24
Şekil 19. Ahşap yüzeye yangın geciktirici kaplama uygulaması	25
Şekil 20. Origine yapısında yangın durdurucu macun uygulaması	25
Şekil 21. Sprinkler başlığı ve çalışma sistemi	26
Şekil 22. Hücre yangını sıcaklık – zaman grafiği.....	27
Şekil 23. Kompartıman yangını gelişim süreci	28
Şekil 24. Yangın deneyinden fotoğraflar.....	29
Şekil 25. ABD Uluslararası Yapı Kodu (IBC)'na göre bina sınıflandırması	31
Şekil 26. Örnek yapıların ülkelere göre dağılım grafiği.....	67

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. EN 13501-1'e göre malzemelerin yangın sınıflandırması	17
Tablo 2. Avrupa Yangına Tepki Sınıflandırma sistemine göre döşemeler hariç yapı ürünleri.....	18
Tablo 3. Avrupa ülkelerinin kat sayı sınırlılıkları	32
Tablo 4. Yapı analiz tablosu	37
Tablo 5. Carbon 12 yapısı	38
Tablo 6. T3 Minneapolis yapısı.....	40
Tablo 7. International House Sydney yapısı.....	42
Tablo 8. Forte Apartments yapısı	44
Tablo 9. Dalston Works yapısı	46
Tablo 10. Origine yapısı	48
Tablo 11. Hoas Tuuliniitty yapısı	51
Tablo 12. Lighthouse Joensuu yapısı	53
Tablo 13. Treet yapısı.....	55
Tablo 14. Brock Commons yapısı	57
Tablo 15. Haut yapısı	59
Tablo 16. Hoho Wien yapısı.....	61
Tablo 17. Mjostarnet yapısı.....	63
Tablo 18. Ascent yapısı	65
Tablo 19. Örnek yapıların kat sayısı/yüksekliği ve yangın danışmanı bilgileri	69
Tablo 20. Strüktür malzemesinin türüne göre ve kullanıldığı yapı elemanına göre örnek yapılar	70
Tablo 21. Örnek yapılarda alınan yangın dayanımına yönelik alınan önlemler.....	71

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

IBC	: The International Building Code, Uluslararası Bina Kodu (ABD)
NFPA	: National Fire Protection Association, ABD - Yangından Korunma Derneği
CLT	: Cross Laminated Timber, Çapraz Lamine Ahşap
GLT	: Glued Laminated Timber, Tutkallı Tabakalı Ahşap
NLT	: Nail Laminated Timber, Çivili Lamine Ahşap
LVL	: Laminated Veneer Lumber, Lamine Kaplama Ahşap
TCC	: Timber-Concrete Composite, Ahşap-Beton Kompozit
DLT	: Dowel Laminated Timber, Ahşap Dübelli Lamine Ahşap
GLIF	: Glueline Integrity In Fire, Test yöntemi
PUR	: Polyurethane Reactive, Poliüretan yapıştırıcı
MUF	: Melamine-Urea-Formaldehyde, Melamin-Üre-Formaldehit yapıştırıcı
MF	: Melamine-Formaldehyde, Melamin-Formaldehit yapıştırıcı
PRF	: Phenol-Resorcinol-Formaldehyde, Fenol-Resorsinol-Formaldehit yapıştırıcı
FRTW	: Fire Retardant Treated Wood, Yangın Geciktirici İşlem Görmüş Ahşap
FIGRA	: FIreGrowthRAte, Yangın büyüme hızı
IABSE	:The International Association for Bridge and Structural Engineering, Uluslararası Köprü ve Yapı Mühendisliği Birliği
SED	: Structural Engineering Documents, Yapısal Mühendislik Belgesi
ICC	: International Code Council, Uluslararası Kod Konseyi(ABD)
CPD	: Construction Products Directive, Yapı Malzemeleri Direktifi
CPR	: Construction Products Regulation, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği
NCC	: National Construction Code, Ulusal İnşaat Kodu
PS	: Performance Solution, Performans Çözümleri
DTS	: Deemed To Satisfy Solution, Kuralcı Çözümler
NBCC	: National Building Code of Canada, Kanada Ulusal Yapı Kodu
EMTC	: Encapsulated Mass Timber Construction, Kapsüllenmiş Masif Ahşap Yapı

1. GENEL BİLGİLER

Dünyamızda yapım eyleminin çevreye verdiği olumsuz etki tartışılmaz bir gerçektir. Özellikle beton ve çelik üretiminin yüksek karbon ayak izine karşı ahşap malzeme, sürdürülebilir bir seçenek haline gelmiştir (URL-1, 2023). Artan nüfus ile birlikte az ve orta katlı binalar şehirlerdeki talebi karşılayamayacak duruma gelerek kentlerde dikey büyümeye sebep olmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalar sera gazı emisyonunun çoğunun konut ihtiyacına bağlı artan inşaat sektöründen kaynaklandığını göstermektedir (Li vd., 2019). Dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde, ahşap inşaat teknolojilerindeki gelişmelerle beraber özellikle son on yılda çok katlı ahşap yapı inşasındaki artış da görülmektedir. Yapıların ‘çok katlı’ sınıflandırması itfaiye araçlarının müdahale seviyesine bağlı olarak ülkelere göre değişmektedir. Çok katlı ahşap yapıların uygulamadaki artışına paralel olarak, literatürde de konu, giderek daha fazla araştırılmaktadır. Pek çok çalışmada, belirli teknolojik avantajlara ek olarak ahşabın karbonu bağlayan yenilenebilir bir malzeme olması, diğer yapı malzemelerine oranla inşaatta ahşap kullanıldığında küresel ısınma potansiyeli üzerinde daha az etkiye yol açması ve ekolojik faydaları vurgulanmaktadır (Leskovar & Premrov, 2021).

Geçmişte kentlerde meydana gelen ve ahşap yapıların büyük oranda yok olmasına neden olan yangınlar nedeniyle ahşabın yapı taşıyıcı sisteminde kullanılması sınırlandırılmıştır (Winter, 2018). Ahşap malzeme sanılanın aksine yangın esnasında koruyucu bir katman oluşturmaktadır. Doğal koruyucu katman olarak görev yapan kömürleşme katmanı yangın anında ısı yayılma hızını azaltarak, alevin yüzeyde yayılma oranını düşürür ve ahşabın yanmasını geciktirerek yangın dayanım süresinin artmasını sağlar. Ahşabın alev maruz kalmayan kısımları strüktür dayanımını sürdürdüğü için binanın tahliye edilmesine olanak sağlamaktadır (URL-2, 2022).

Tez çalışmasında endüstriyel ahşap malzemenin yangın dayanımı; ahşabın çok katlı yapı taşıyıcı sisteminde kullanımına ilişkin farklı ülkelerde geçerli olan çeşitli ahşap yapısal yangın düzenlemeleri ile aktif ve pasif yangın önlemleri bağlamında örnek yapılar üzerinden incelenmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapılan bu çalışmanın amacı;

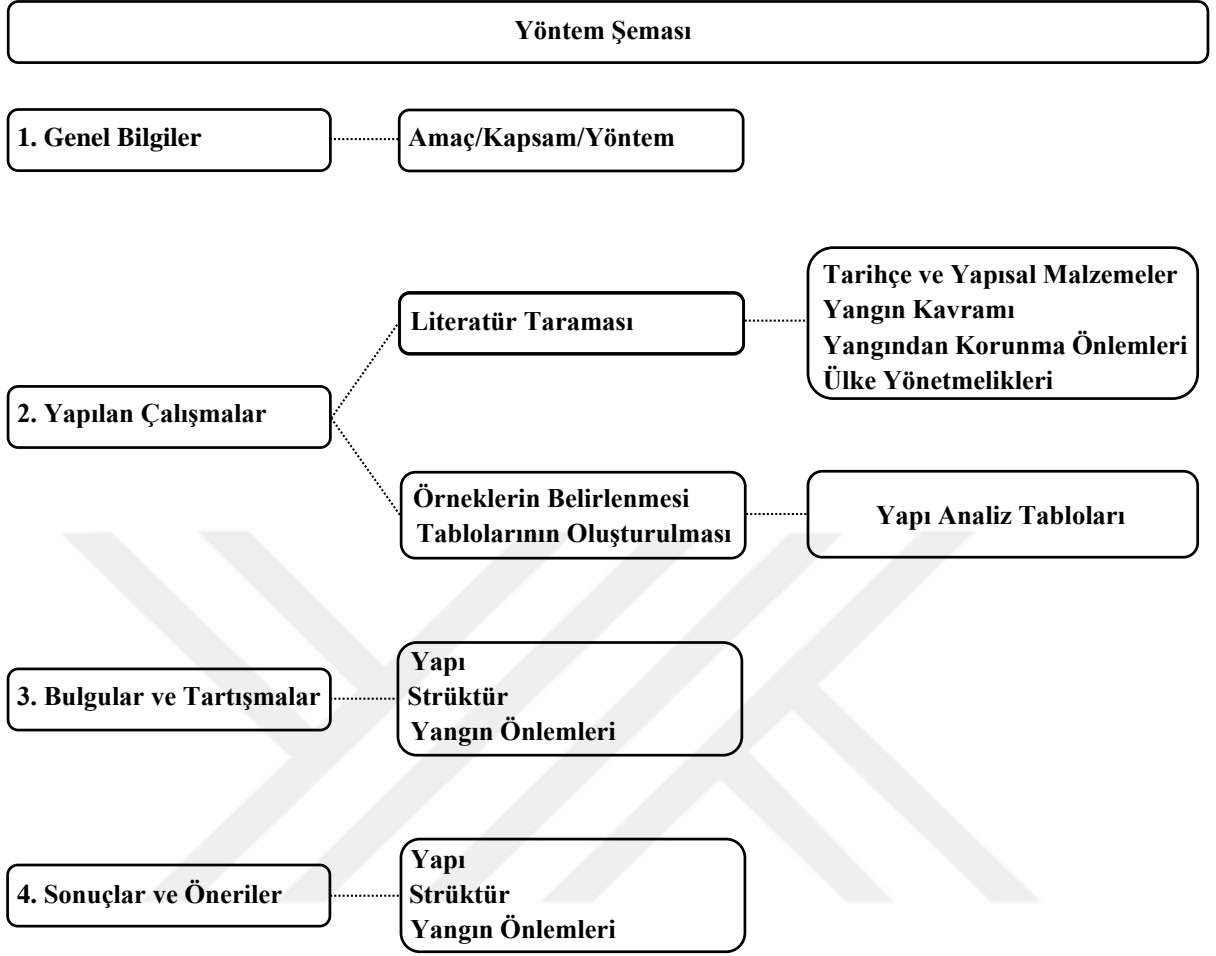
- Endüstriyel ahşap malzemenin yangın dayanımını inceleyerek ahşabın çok katlı yapı taşıyıcı sisteminde kullanımını irdelemek,
- Ülkelerin ahşap yangın yönetmeliklerini analiz ederek farklılıkları vurgulamak,
- Çok katlı ahşap yapılarda alınan pasif ve aktif yangın önlemlerini örnek yapılar üzerinden analiz etmektir.

Çalışma, sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan ahşabın güvenli şekilde yapılarda kullanılabilmesi için alınacak önlemleri hem malzeme bazında hem de yapısal düzeyde ortaya koyarak bu konudaki bilinci artırmayı ve ahşabın yapı tasarımlarında tercih edilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada 2015-2022 yılları arasında inşa edilen yapılar seçilerek yangın önlemleri incelenmiştir. Örnek yapı incelemeleri çok katlı ahşap yapıların yangın dayanımı açısından yapılmış olup tasarım ve planlamaya ait yangın önlemleri kapsam dışı bırakılmıştır.

1.2. Çalışmanın Yöntemi

Çok katlı ahşap yapılarda yangın dayanımının ele alındığı tez çalışması; genel bilgiler, yapılan çalışmalar, bulgular ve tartışmalar, sonuçlar ve öneriler olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışmanın ilk bölümünde çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi anlatılmıştır. İkinci bölümünde literatürde başta yabancı kaynaklar olmak üzere yapılan yayınlar geniş kapsamda incelenmiş, belirlenen kriterler üzerinden çizim, fotoğraf ve literatür bilgisi ile analiz tabloları oluşturulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; elde edilen bulgular; yapı, strüktür ve yangın önlemleri başlıkları altında tartışılmıştır. Son bölümde yapılan tartışmaların sonuçları ve çalışma ile ilgili öneriler verilmiştir.



Şekil 1. Yöntem şeması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışmasında, konu kapsamında yazılı ve görsel kaynaklar başta olmak üzere geniş kapsamlı literatür araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada; e-kitap, kitap, lisansüstü tezler, makale, bildiri, firma katalogları, standartlar, el kitapçıkları gibi pek çok Türkçe ve yabancı dilde yazılan kaynaktan yararlanılmıştır. Bu kaynaklardan derlemeler yapılırken, çok katlı ahşap yapılarda alınan yangın önlemleri, ülkeler bazında uygulanan ahşap yapı yangın yönetmelikleri ve performans özellikleri bakımından bilgiler elde edilmiştir. Çok katlı ahşap yapılarda alınan yangın önlemleri ile ilgili uygulamalar ve kaynaklar üzerinden yapılan inceleme ve derleme sonucu Türkçe kaynak olarak yararlanabilecek bir araştırma ortaya koyulmuştur.

2.1. Çok Katlı Ahşap Yapılar

Genel olarak ahşap yapılar kat sayısına göre az katlı (1-3 kat), orta katlı (4-7 kat), çok katlı (7 ve üstü) olarak sınıflandırılabilir de bu alanda evrensel düzeyde kabul görmüş bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Orta ve çok katlı ahşap yapıların yükseklik tanımları arasındaki asıl ayrım, temel olarak Uluslararası Bina Kodu (IBC) tarafından verilmektedir. IBC'ye göre binadaki insan sayısı arttıkça gerekli olan yapı ölçütleri ve bununla beraber yangın gereksinimleri de artmaktadır (URL-3, 2023; Buchanan, 2018).

Ülkelerin standartlarına göre ahşap yapılar için çok katlı tanımlaması değişiklik göstermektedir. Almanya Standartları'na göre 22 metreyi aşan yapılar; Amerika'da Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA)'na ve Uluslararası Bina Kodu (IBC)'ye göre itfaiyenin ulaşabildiği en yüksek nokta olan 7 katı / 23 metreyi aşan yapılar, yüksek yapı olarak tanımlanmaktadır (Karacabeyli, 2014; Östman, 2018; Barber, 2018; Buchanan, 2018). Yangın anında itfaiye araçlarının ulaşabileceği yükseklik de önemlidir. İtfaiye araçlarının 23 metre yüksekliğinde merdivenleri olanları 6. kata, 30 m yüksekliğinde merdiveni olanları ise 9. kata erişim sağlayabilmektedir. Ülkelerin yükseklik tanımı da buna bağlı olarak değişmektedir (Su, 2018).

2.2. Çok Katlı Ahşap Yapıların Tarihsel Gelişimi

Japonya’da 1300 yıl önce inşa edilmiş pagodalar, güçlü rüzgarlara, ağır depremlere ve nemli iklime rağmen günümüzde hala ayaktaadır. Bilinen en eski pagoda M.S. 711 yılında inşa edilmiş Horyu-Ji Pagodasıdır (Şekil 2). Horyu-Ji Pagodası 32,5 m yüksekliğe sahip 5 katlı bir tapınaktır (URL-4, 2022).



Şekil 2. Horyu-Ji Pagodası (URL-5, 2022)

Ülkemizdeki en eski çok katlı ahşap yapı Ahmet Afif Paşa Yalısıdır (Şekil 3). 1900-1910 yılları arasında Alexander Vallaury tarafından tasarlanmıştır. 4 katlı yapının zemin katı yığma, iki normal katı ve çatı katı ahşap karkas olarak inşa edilmiştir (URL-6, 2022).



Şekil 3. Ahmet Afif Paşa Yalısı

20. yüzyıl başlarında tuğla ve dikme-kiriş sistemiyle yapılan çok katlı yapılarda dış duvarlarda tuğla ya da taş, iç duvarda ise ahşap dikme kiriş sistem kullanılmıştır. 1905 yılında Kanada’da inşa edilen Kelly Douglas Binası bu yapılara örnek gösterilebilir. Yapı,

1988 yılında yenilenmiştir ve günümüzde halen hizmet vermeye devam etmektedir (Şekil 4). 30 m yüksekliğe sahip olan yapı, ahşap çerçeve sistem ile inşa edilmiştir (Aydın, 2019).



Şekil 4. Kelly Douglas Binası (URL-6, 2022)

Londra’da 2009 yılında inşa edilen Murray Grove yapısı, tümüyle endüstriyel ahşap malzemeden elde edilen ilk 9 katlı konut projesidir (Şekil 5). Yapımı 49 hafta süren yapıda 29 adet yalıtımlı ve ses geçirmez daire bulunmaktadır. Laminasyon tekniği kullanılarak üretilen Çapraz Lamine Ahşap (CLT) malzemenin uygulandığı ilk binadır (URL-7, 2022).



Şekil 5. Murray Grove binası (URL-7, 2022)

1900’lerin başlarında dayanıklı yapı elde etmek için çelik ve beton sistemlerin kullanımının artmasıyla ahşap yapılar büyük oranda azalmış ancak ahşap malzemenin sürdürülebilirliğe ve çevresel kavramlara olan etkisi nedeniyle konu ile ilgili çalışmalar 21. yüzyılda yeniden başlamıştır (Güzel, N. & Yesügey, S.C.). Endüstriyel ahşap malzeme ve yapım sistemlerinin gelişmesiyle birlikte çok katlı ahşap yapıların deprem ve yangın performansı artmıştır. Özellikle çelik ve beton yapı malzemesi ve farklı yapım sistemleri ile

birlikte kullanıldıklarında bulunduğu ülkenin yönetmeliklerine bağlı olarak kat sınırlaması önemli ölçüde esnemektedir.

2.3. Çok Katlı Ahşap Yapılarda Kullanılan Yapısal Malzemeler

Endüstriyel ahşap, günümüzün modern ahşap karkas yapılarında kullanılan, sertifikalı, mühendislik özellikleri ve mukavemet sınıfları belli olan, ahşap yapı malzemesidir ve geliştirilmiş mekanik özellikleri standartlarla belirlenmiş, yüksek teknoloji ürün özelliklerine sahiptir (URL-8, 2022).

Endüstriyel ahşap malzemenin diğer yapı malzemelerine oranla avantajlı özellikleri olduğu gibi farklılık gösteren anizotropi özellikleri de vardır (Bal & Bektaş, 2018). Endüstriyel ahşap malzeme hafif olması nedeniyle nakliyesi ucuz, montajı kolay ve ekonomiktir. Birleşimi basit olan endüstriyel ahşap malzemeler, birbirlerine geçmeli bağlanabilir; yapıştırılabilir; çivi, bulon, vida veya metal lama yardımı ile birleştirilebilir. Birleşim elemanları kolay sökülebilir olduğu için yapının demontajı yapılarak farklı binaların yapımında tekrar kullanılabilir. Isı yalıtım özelliği bakımından avantajlı, asitlere ve kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Endüstriyel ahşap; birleşim detayları basit, taşıma gücü yüksek, hafif ve mimari etkisi yüksek bir malzemedir (Çalışkan vd., 2019).

Çok katlı ahşap yapılarda taşıyıcı eleman olarak genellikle Çapraz Lamine Ahşap (CLT-Cross Laminated Timber) ve Tutkallı Tabakalı Ahşap (Glulam-GLT-Glued Laminated Timber) kullanılmaktadır. Taşıyıcı duvarlarda CLT ve GLT haricinde Çivili Lamine Ahşap (NLT-Nail Laminated Timber) ve Ahşap Dübelli Lamine Ahşap (DLT-Dowel Laminated Timber), döşemelerde ise Lamine Kaplama Ahşap (LVL-Laminated Veneer Lumber) ve Ahşap-Beton Kompozit (Timber-Concrete Composite, TCC) kullanımına rastlanmaktadır (Güzel & Karaman, 2015).

2.3.1. Çapraz Lamine Ahşap (CLT)

Çapraz Lamine Ahşap (CLT) belirli sayıda strüktürel ahşap malzemenin birbirine 90 derece açı ile üst üste yerleştirilmesi ile oluşturulan ve yüzeyine yapıştırıcı uygulanan masif, genellikle dikdörtgen formlu üretilen yapı malzemesidir ve ladin, köknar, karaçam gibi ağaçlardan çıkarılan parçaların uygun yapıştırıcılar ile bir araya getirilmesiyle üretilmektedir (Şekil 6). CLT katmanları genellikle 3, 5, 7 gibi tek sayılıdır. Kalınlıkları genellikle 80 ile 300 mm arasında olup uzunlukları ise nakliye faktörü göz önünde bulundurulduğu için 18

m'yi geçmemektedir. CLT paneller akustik ve ısı performansını yüksek ürünler olmasının yanında hızlı ve kolay kurulum, farklı form ve işlevlerde kullanımı ile esnek tasarıma imkan sağlamaktadır (Şanlı, 2020).



Şekil 6. Çapraz Lamine Ahşap (URL-9, 2022)

2.3.2. Tutkallı Tabakalı Ahşap (Glulam / GLT)

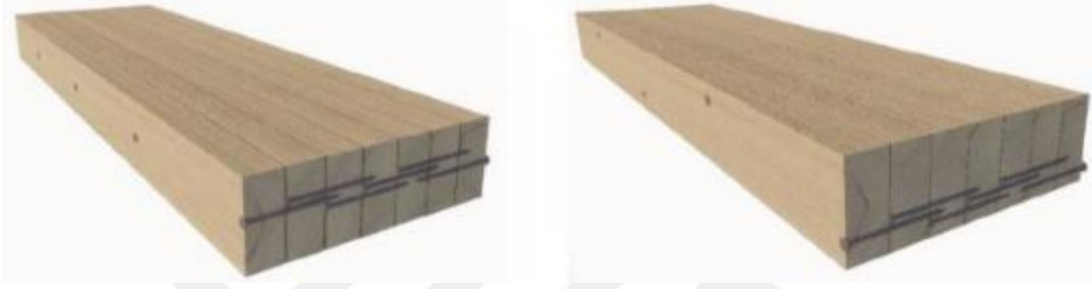
Tutkallı tabakalı ahşap (GLT), kerestelerin uç uca, yan yana veya üst üste eklenerek birleştirilmesinin ardından uygun tutkal ile preslenmesi sonucu üretilmektedir (Şekil 7). Glulam kerestelerin boyutları üretildiği tesis ve nakliye şekline bağlı olarak değişiklik göstermekte ve keresteler için seçilen ağaçların gövdesindeki liflerin gerilme mukavemetinin 10 N/mm^2 ile 100 N/mm^2 arasında olması gerekmektedir (Sağlam, 2009). Üretim aşamasındaki Glulam kerestelerinin düzgün şekilde kurutulması, imalat sonrasındaki boyutsal değişiklikleri önlemeye yardımcı olmaktadır. Glulamı oluşturan elemanların lif yönleri genellikle birbirine paralel olacak şekilde üretilmektedir (Güller, 2001).



Şekil 7. Tutkallı Tabakalı Ahşap (URL-10, 2022)

2.3.3. Çivili Lamine Ahşap (NLT)

Çivili Lamine Ahşap (NLT), kerestelerin geniş yüzlerinin birbirlerine paralel olacak şekilde getirilerek çivi ya da vida ile birleştirilmesi sonucu oluşturulan ahşap yapı elemanıdır. Şekil 8’de görüldüğü gibi çivilerin iki bitişik laminasyondan geçebilmesi için uzunluğunun kerestelerin derinliğinden en az iki buçuk kat daha büyük olması gerekmektedir (URL-11, 2022).



Şekil 8. Çivili Lamine Ahşap (URL-11, 2022)

2.3.4. Ahşap Dübelli Lamine Ahşap (DLT)

Ahşap Dübelli Lamine Ahşap (DLT) ilk olarak 1990 yılında İsviçre’de üretilmiştir. Üretimleri NLT üretimine benzerdir. NLT ile laminasyon şekli aynıdır ancak birleşim NLT’de çelik çiviler ile sağlanırken DLT’de ahşap dübeller kullanılmaktadır (Şekil 9). Genellikle meşe gibi yüksek yoğunluklu ağaç türlerinden seçilen dübeller hidrolik pres yardımı ile kerestelere monte edilir. DLT paneller nakliye kısıtlamaları göz önünde bulundurularak genellikle 18m uzunluğa, 4,3 m genişliğe sahiptir (URL-11, 2022).



Şekil 9. Ahşap Dübelli Lamine Ahşap (URL-11, 2022)

2.3.5. Lamine Kaplama Ahşap (LVL)

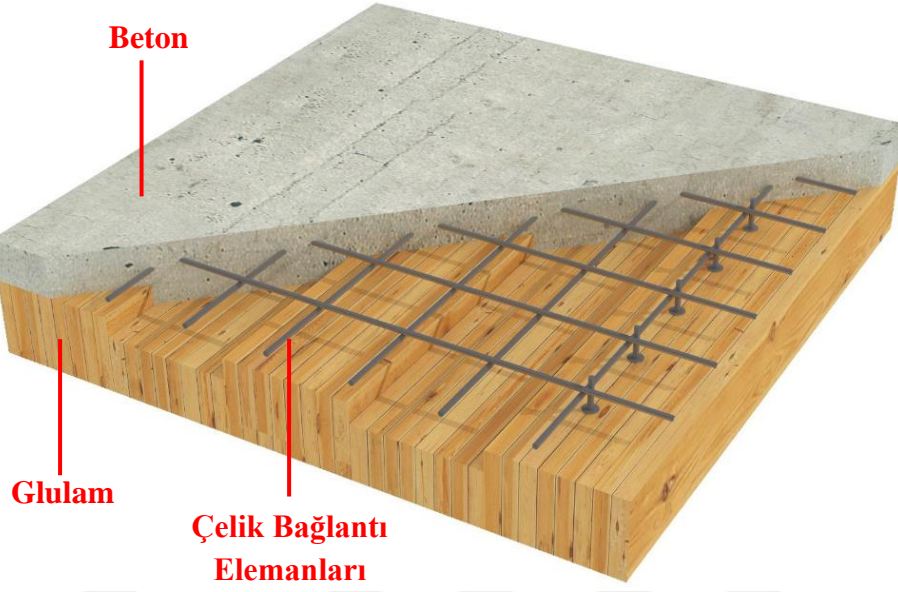
Lamine Kaplama Ahşap (LVL) 1970'lerin başında geliştirilen ince ahşap kaplamaların kurutularak, lif yönleri paralel olacak şekilde ısı, yapıştırıcı ve basınç uygulanarak birleştirilmesi ile üretilmektedir (Şekil 10) (URL-12, 2022). LVL, masif ahşaba göre daha fazla yük taşıma kapasitesi kazandırılarak; burulma, çatlama gibi doğal masif ahşap malzemede meydana gelen deformasyonlar en aza indirilecek şekilde üretilmektedir. Farklı boyutlarda üretime olanak sağladığı için özellikle geniş açıklıklı ahşap yapılarda sıklıkla tercih edilmektedir (Aydın, 2019). LVL, ahşap yapılarda genellikle ana kiriş olarak kullanılırken malzemenin geniş açıklıklı yapılarda çatı strüktürü olarak kullanımı daha yaygındır (Öztank, 2004).



Şekil 10. Lamine Kaplama Ahşap (URL-12, 2022)

2.3.6. Ahşap - Beton Kompozit (TCC) Sistem

Ahşap-Beton Kompozit Sistem (TCC), ahşap ve betonun bağlantı elemanlarıyla bir araya getirilmesi ile oluşturulur (Şekil 11). Bu sistem, beton ve ahşap malzemeyi yapısal bağlantı elemanları ile bir araya getirerek her iki malzemenin olumlu özelliklerini birleştirmektedir (Yılmaz, 2020).



Şekil 11. Ahşap Beton Kompozit döşeme (URL-13, 2023)

TCC paneller, tasarıma bağlı olarak fabrikada veya şantiyede üretilebilmekte ve genellikle döşeme veya çatı paneli olarak kullanılmaktadır. TCC döşeme elemanının yangın dayanım performansı yüksektir ve yangın durumunda yük taşıma kapasitesine ek olarak, genellikle ahşap elemanların kömürleşmesi ve kesme bağlantı elemanlarının olası ısınması ile karakterize edilir (Ranger vd., 2016; URL-14,15 2022).

2.4. Yangın Kavramı ve Ahşap Malzeme

Yanma, yanıcı olarak adlandırılan bir maddenin; yakıcı bir başka madde ile birleşmesi sonucunda ısı vererek meydana getirdiği olaydır. Yanıcı madde, genellikle oksijen içerir ve bir maddenin yanabilmesi için havanın en az %14–18 arasında oksijen içermesi gerekir. Normal şartlarda havadaki oksijen oranı %21'dir (Uysal vd., 2004). Yangının gerçekleşmesi için oksijen, tutuşma sıcaklığı ve yanıcı maddenin belirli oranlarda uygun ortamda bulunması gerekir. Oksijen, yanıcı madde ve sıcaklık dengesindeki farklılıklar yangının şiddetini belirler. Bu nedenle bu üç maddeden herhangi birini ortadan kaldırmak veya oranı değiştirmek yangının durumunu değiştirir (Aslan, 1994; Peker, H. & Atılğan, A., 2015).

Doğal ve yapay tüm ahşap malzemeler, bütün organik materyallerde olduğu gibi yüksek sıcaklığa maruz kaldığında kimyasal yapısındaki değişimle kömür ve gaz oluşturur. Ahşap malzemedan sızan gazlar hava ile temas ettiğinde tutuşabilir. Tutuşma, ahşap

malzeme yüzeyinin kor haline gelmesi veya malzemenin dış yüzeyinde alev oluşması ile ortaya çıkmaktadır (Holmes, 1977).

2.4.1. Ahşap Malzemenin Yangın Evreleri

Ahşap malzemeler liflere dik yönde en az metaller kadar; boyuna yönde ise çok daha az uzama gösterir. Ahşap malzemenin yanıcılığının yanında, yanma hızı ve derecesi büyük bir öneme sahiptir (Peker & Atılğan, 2015).

Ahşap malzemenin 6 yangın evresi bulunmaktadır. Bunlar:

1. Tutuşma sıcaklığı,
2. Termal degradasyon,
3. Yanma penetrasyonu,
4. Alev yayılımı,
5. Kor haline gelme,
6. Duman oluşumu

dur.

Tutuşma sıcaklığı; ahşap malzemenin türü ve etkisi altında kaldığı termal ve çevresel koşullarla ilgili birkaç faktöre bağlıdır. Malzeme türüne ait faktörler; rutubet miktarı, yoğunluk, yüzeyin absorbe etme özelliği, kalınlık ve yüzey alanı, piroliz (termal bozunma) karakterleri ve ısı iletkenliğini kapsamaktadır. Tutuşma sıcaklığının ısıya maruz kalma süresi; oksijen varlığı, ısıtma oranı, hava sirkülasyonu ve havalandırma, açıktaki ahşap elemanlarını çevreleyen boşluk veya doluluk oranı, sıcaklık ve mevcut ısı enerjisi miktarı olarak belirtilmektedir (Holmes, 1977). Alevle tutuşmanın yeterli koşulu, yaklaşık 400-500°C sıcaklık aralığında uçucu maddelerin ve havanın doğru bileşimle karıştırılmasıdır (White & Diertenberger, 2010).

Termal degradasyon, ahşabın hücre boşluklarında bulunan rutubet ve ısı etkisi ile dışarıya çıkmaya başlar. Isının 100°C'ye kadar çıkması ile devam eden suyun buharlaşması, kuruma olayında malzemenin direnç özelliklerini de artırmaktadır (İlhan, 1988). 100°C'nin üzerinde karbonhidratlar yıkılarak, çevreye yayılan yanabilir bileşenler oluşmaktadır. 450°C üzerinde ise yanabilir ürünlerin oluşumu tamamlanır ve geriye kömürleşmiş malzeme kalır (Çolak & Çolakoğlu, 2004).

Yanma penetrasyonu, ahşap bir malzemenin yanmaya karşı koyması veya yapısal fonksiyonunu sürdürebilmesi için gösterdiği dayanıklılık olarak ifade edilmektedir. Ahşap,

termal iletkenliği düşük bir malzemedir ve yanma anında oluşan kömür tabakası nedeniyle güçlü bir doğal dayanıma sahiptir. Kmrleşen yüzey altındaki ahşap kısmın, orijinal parçanın direnç özelliklerinin pek çoğunu korumaya devam ettiği görülmektedir (Holmes, 1977). Yangın ahşap elemanın en kesitinde kayıp oluşturur bu nedenle yapısal elemanın binadaki yükü taşımaya devam edebilmesi için kesit kalınlıkları belirlenirken kömürleşme oranına dikkat edilmesi gerekir (olak & olakoğlu, 2004).

Ahşap bir malzemede gerçekleşen alev yayılımı, bitişik yüzeydeki tutuşma miktarına bağlıdır. Alev yayılımının şiddeti, ahşap malzemenin kimyasal yapısına, yoğunluğuna ve tutuşmadaki rutubet miktarına göre değişiklik göstermektedir (şekil 12) (olak & olakoğlu, 2004). Tutuşabilen bir yüzey üzerinde alev yayılımı, yanma performansının özelliğini belirlemede önemli rol almaktadır. Alev yayılım sınıflandırması veya sayısı, örnek yüzey uzunluğu boyunca alevin yayılım süresine göre hesaplanmaktadır (Holmes, 1977).

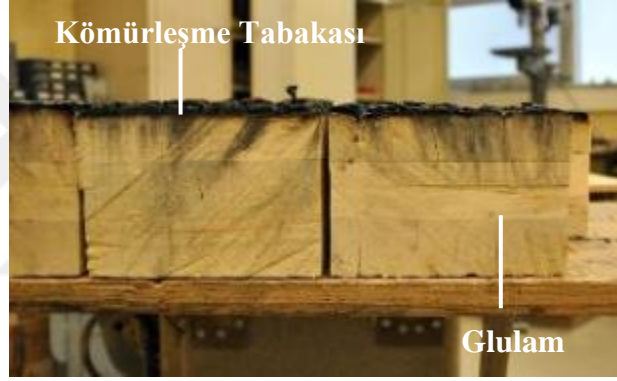


şekil 12. Alev yayılımı (URL-16)

Alev ile yanmanın devamı, kor haline gelme (korlaşma)dir. Korlaşma, yanmakta olan ahşabın kömür tabakasındaki karbonun yanmasıdır (İlhan, 1988; Holmes, 1977). Ahşap malzemenin yanması tamamlandığında, ısı ve ışıktan farklı meydana gelen ürün; renksiz gazlar olan su buharı ve karbondioksittir. Yanıcı gazlar, büyük oranda duman ile birlikte havaya karışır (İlhan, 1988). Duman oluşumu, yapılarda yangın sırasında insan hayatı için en büyük tehlikeyi oluşturur. En tehlikelisi döşemelerde sıklıca kullanılan sentetik malzemelerden ve plastikten ayrışan dumandır. Bu nedenle, ahşap malzemeye uygulanan yangın geciktirici ürünlerin duman oluşumunu artırmaması gerekir (olak & olakoğlu, 2004).

2.4.2. Yüksek Sıcaklıkta Ahşap Malzemenin Özellikleri

Ahşap malzemenin özelliği; yanarak kömürleşmiş kısımların, yangın için gerekli oksijeni engellemesi ve yangının büyümesini önlemesidir. Doğal koruyucu katman olarak görev yapan kömürleşme katmanı yangın anında ısı yayılma hızını azaltarak, alevin yüzeyde yayılma oranını düşürür ve ahşabın yanmasını geciktirerek yangın dayanım süresinin artmasını sağlar (URL-2, 2022). Yangına maruz kalan taşıyıcı ahşap malzemenin yangından etkilenen yüzey sayısına ve bu yüzeylerdeki kömürleşme hızlarına bağlı olarak yük taşıyan kesiti daralmaktadır. Ahşap kolonların kömürleşmemiş kesit alanı hesaplandıktan sonra kesite ait atalet momentleri, atalet yarıçapları, mukavemet momentleri ve burkulma boyuna bağlı narinlikleri hesaplanarak kolonların en kesiti belirlenmektedir (Buchanan ve Östman, 2022).



Şekil 13. Glulam kirişte kömürleşme tabakası (URL-17, 2022)

2.4.3. Endüstriyel Ahşap Malzemelerde Kullanılan Yapıştırıcıların Yüksek Sıcaklıkta Önemi

Yapıştırıcılar, yüzey yapıştırma ve mühendislik ürünü ahşap ürünlerin parmak birleştirmeleri için kullanılır. Yapıştırılmış elemanlar, yangın esnasında aynı boyutta ve yapıştırma hattı olmayan masif ahşap elemanlara oranla farklı davranabilir. Kuzey Amerika'da, çapraz lamine ahşap ve tutkallı lamine ahşap üretiminde kullanılan yapıştırıcıların, kömür tabakası yapıştırma hattına yaklaştığında bütünlüklerini göstermek ve doğrulamak için bir takım sıkı yangın testlerinden geçmeleri gerekmektedir. Tüm yapıştırıcıların yüksek sıcaklık veya yangın koşullarında performanslarını göstermeleri için çeşitli testlerin yapılması zorunludur. Avrupa'da, bir test yöntemi olan GLIF (Glueline

Integrity In Fire), çapraz lamine ahşap ürünü masif ahşap ile karşılaştırmıştır. Yapıştırma hattı olan ahşabın performansı, yapıştırma hattı olmayan masif ahşabın olası maksimum kütle kaybıyla karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Buchanan & Östman, 2022).

Yapıştırıcı tabakasında termal stabilite, yüksek reçineler kullanılarak yapısal ahşap kompozitlerin yanma dayanımı artırılabilir. Ahşap malzemelerin demir ve çelik gibi diğer yapı malzemelerine göre doğal olarak yüksek özgül ısıya sahip olması ve kömürleşme özelliğinin bazı yangın geciktirici maddelerin tutkal çözeltisine eklenerek artırılması ile ahşabın nispeten daha düşük sıcaklıklarda yanıcı özellik göstermesinin önüne geçilebilir (Buchanan & Östman, 2022).

Avrupa'da, taşıyıcı ahşap elemanların alın yapıştırması için PUR, MUF, MF ve PRF yapıştırıcı grupları mevcuttur. Her bir yapıştırıcı grubu içinde, formülasyonları bakımından büyük farklılıklar vardır ve bu nedenle, bir yapıştırıcı grubundaki tüm ürünlerin yangında yapıştırıcı hattı bütünlüğünü koruyabileceğini varsaymak yanlıştır. Kömürleşme süresi gibi belirli özellikleri iyileştirmek için yapışkan üründeki karışımın değiştirilmesi yangın performansını etkilemektedir. Tutkal tabakasının başarısızlığı, kömürleşmiş yüzeyin ayrılmasına ve sonuç olarak düşmesine ve bir sonraki yüzeyin daha hızlı kömürleşmesine neden olmaktadır (Buchanan & Östman, 2022).

CLT paneller gibi yapıştırılmış lamine ahşap elemanlar için yapışma performansı, dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir. CLT panellerin yanma performansını etkileyen iki önemli parametre vardır: Birinci parametre, kullanılan yapıştırıcıların seçimidir ve öncelikle malzemenin mekanik özelliklerini karşılaması üzerine seçim yapılmaktadır. Yapıştırıcının yangın performansı CLT için diğer endüstriyel ahşap malzemelere göre daha kritiktir, çünkü CLT'deki yapıştırma tabakası yangına maruz kalan yüzeye paraleldir. CLT döşeme-tavan düzenekleri ile yapılan bir dizi büyük ölçekli bölme yangın testi; bazı termo-plastik yapıştırıcıların yapıştırma hattı arızasının, yangına maruz kalan levhaların düşmesine neden olarak, çürüyen bir yangına ek yakıt ekleyerek ikinci bir parlamaya neden olabileceğini göstermiştir (Şekil 14) (Brandon & Dagenais, 2018). Bunun yanı sıra malzemenin çok fazla tutkal tabakasına sahip olması da yanma süresince delaminasyona neden olabilmektedir. Bu durum yapının bütünlüğünü tehdit eden bir durumdur. İkinci parametre ise çapraz lamine ahşap ürünlerin genel olarak büyük bir boyutsal kalınlığa sahip olmasıdır. Genellikle bu > 200 mm olabilir. Ahşap içindeki sıcaklık dağılımı yanma davranışını ve mekanik özellikleri etkilemektedir (Dönmez Çavdar vd., 2023).



Şekil 14. CLT malzemede görülen yapıştırıcı hatası (Mohd Yusof vd., 2019)

2.4.4. Ahşap Malzemede Alev Geciktirici İşlemler

Endüstriyel ahşap malzemelerin yangın performansını iyileştirmek için alev geciktiriciler kullanılmaktadır. Alev geciktirici ürünler ile işlem görmüş ahşap malzemelere ‘yangın geciktirici işlem görmüş ahşap’ (Fire Retardant Treated Wood, FRTW) denir. Alev geciktirici işlem ile; gecikmeli ateşleme, düşük ısı yayma hızı ve alevlerin daha yavaş yayılması sağlanmaktadır. Ahşabın yangın geciktirici işlemi genellikle yangına maruz kalma sırasında açığa çıkan yanıcı, uçucu maddelerin miktarını ve etkin yanma ısısını azaltarak alevin yüzeye yayılma hızını azaltır (White & Dietenberger, 2010).

Yanmaya karşı koruyucu maddelerin ahşap malzeme yüzeyine genellikle püskürtülmesi veya sürülmesi ile havanın oksijen ile temasını kesmek ve malzemeyi yanmaya karşı korumak amaçlanmaktadır. Ancak kullanılan maddelerin elastik olması gerekmektedir, aksi takdirde yanma sırasında malzeme üzerinden koparak koruyuculuk etkileri ortadan kalkmaktadır (Peker & Atılğan, 2015). Yalnızca alev geciktirici işlem tipi değil ahşabın da türüne, yapısına ve nem içeriğine bağlı olarak kimyasal maddenin malzemeye nüfus etmesi değişkenlik göstermektedir (White & Dietenberger, 2010).

Ahşabı alev geciktiriciler ile işlemek için iki ana işlem vardır; ilki alev geciktiricinin sulu çözeltileri ile bir basınç odasında vakum-basınç emdirme yoluyla tam hücre işlemidir. İkinci işlem daldırma, püskürtme, fırça veya rulo ile yüzey işleme işlemidir. Alev geciktiriciler, yapıştırıcıdan önce, sonra veya yapıştırıcıyla birlikte parçacıklar, lifler veya şeritler üzerine püskürtülebilir ve ardından ahşap esaslı panellere preslenebilir (Buchanan & Östman, 2022).

2.4.5. Ahşap Malzemelerin Yangın Sınıfları

Avrupa Standartı EN 13501-1'e göre bir malzemenin belirli koşullar altında yapılan testlere verdiği tepki malzemenin yangın sınıfını belirlemektedir. Bu test yöntemine göre A1, A2, B, C, D, E ve F sınıfları bulunmakla beraber belirli bir sınıfa ait ürünün, alt sınıflarının da tüm gereksinimlerini karşıladığı kabul edilir (Tablo 1). A'dan F'ye sıralanan sınıflar, yanıcılık düzeyinin arttığını göstermektedir. Bu sınıflandırmaya ek iki sınıflandırma daha bulunmaktadır; duman emisyon seviyesi(s) ve damlacık veya partikül üretimi(d). Yanma sırasındaki duman emisyon seviyesi(s) 1'den 3'e kadar sıralanır; 1, emisyon miktarının olmadığını, 3 ise yüksek yoğunluklu olduğunu göstermektedir. Yangın sırasında açığa çıkan partikül(d) miktarı 0 ila 2 arasındadır (URL-18, 2023).

Tablo 1. EN 13501-1'e göre malzemelerin yangın sınıflandırması

Tanım	Malzeme sınıfı		
Yanmaz malzeme	A1		
	A2 - s1 d0	A2 - s1 d1	A2 - s1 d2
	A2 - s2 d0	A2 - s2 d1	A2 - s2 d2
	A2 - s3 d0	A2 - s3 d1	A2 - s3 d2
Yangına çok az katkılı malz.	B - s1 d0	B - s1 d1	B - s1 d2
	B - s2 d0	B - s2 d1	B - s2 d2
	B - s3 d0	B - s3 d1	B - s3 d2
Yangına az katkılı malz.	C - s1 d0	C - s1 d1	C - s1 d2
	C - s2 d0	C - s2 d1	C - s2 d2
	C - s3 d0	C - s3 d1	C - s3 d2
Yangına orta katkılı malz.	D - s1 d0	D - s1 d1	D - s1 d2
	D - s2 d0	D - s2 d1	D - s2 d2
	D - s3 d0	D - s3 d1	D - s3 d2
Yangına yüksek katkılı malz.	E		E - d2
Yanıcı malzeme	F		
Ek sınıflar	Seviye tanımı		
Duman emisyonu(s)	1	Emisyon miktarı yok/zayıf	
	2	Ortalama yoğunlukta emisyon miktarı/hızı	
	3	Yüksek yoğunluklu emisyon miktarı/hızı	
Damlacık/partikül üretimi (d)	0	Damlama yok	
	1	Yavaş damlama	
	2	Yüksek damlama	

Avrupa Yangına Tepki Sınıflandırması Sistemine göre döşemeler hariç yapı ürünleri Tablo 2’de verilmiştir. Fire Retardant Treated Wood (FRTW), Kanada Ulusal Yapı Yasası (NBC) tarafından tanımlandığı şekliyle "yangın geciktirici işlenmiş ahşap", alev yayılması, yakıt katkı oranı gibi yüzeyde yanma özelliklerine sahip ahşap olarak tanımlanmaktadır (URL-19, 2023).

Tablo 2. Avrupa Yangına Tepki Sınıflandırma Sistemine göre yapı ürünleri

Avrupa Sınıfı	Duman Emisyonu	Damlacık Üretimi	Örnek Ürünler
A1	-	-	Taş yünü
A2	s1,s2 veya s3	d0, d1 veya d2	Alçı levhalar(ince kağıt), mineral yün
B	s1,s2 veya s3	d0, d1 veya d2	Alçı levhalar(kalın kağıt), FRTW
C	s1,s2 veya s3	d0, d1 veya d2	Alçı levha üzeri duvar kapl., FRTW
D	s1,s2 veya s3	d0, d1 veya d2	Ahşap esaslı paneller
E	-	d2	Bazı sentetik polimerler
F	-	-	E sınıfını karşılayamayan ürünler

2.4.6. Yangın Sırasında Ahşap Malzeme ve Diğer Yapı Elemanlarının Karşılaştırılması

Ahşap; betonarme ve çelikten farklı olarak yanıcı bir yapı malzemesidir, bu nedenle yangın sırasında binanın yangın yükünü artırabilir. Malzemenin tutuşabilirliği ve Orta Çağ’da savaşlar sırasında çıkan yangınların geleneksel ahşap yapılarda bıraktığı hasarlar endüstriyel ahşap malzemeler ile inşa edilen binalar için önyargı oluşturmaktadır. Fakat yapı malzemesinin tutuşabilirliği ile yangın dayanımı doğrudan ilişkili değildir. Örneğin; yangın koruma kaplamasız bir çelik kiriş, A sınıfı yanmaz malzeme olmasına karşın yangın anında genellikle 30 dakika sonra taşıma kapasitesini kaybedebilmekte fakat yangın koruma kaplamasız lamine ahşap kiriş 90 dakikadan fazla yapısal bütünlüğünü koruyabilmektedir (Kaufmann vd., 2022). Geleneksel ahşap malzemenin tutuşabilme özelliğine rağmen diğer yapısal materyallere oranla yanma riskinin minimum düzeyde olduğu ve yangının ilk aşamalarında önemli ölçüde direnç gösterdiği bilinmektedir (Sevimli, 2002).

Ahşap malzemenin doğal ısı yalıtım özelliği, yanan dış yüzeylerden iç kısımlara doğru ısı transferini sınırlandırır. Ahşap malzemedeki rutubet azaldıkça yalıtım özelliği ve

kömürleşme oranı artar, kömürleşmiş tabakanın ısı iletkenliği, sağlam kısımlarından daha iyi bir yalıtıktır (Richardson, 1993). Demir ve çelik malzemeler yanmaz malzemelerdir fakat çok yüksek ısı iletkenliklerinin olması nedeni plastik deformasyona uğrayarak yapıya büyük ölçüde zarar vermektedir. Çelik ve alüminyum yapı malzemeleri, ısı etkisi ile kısa bir zamanda sertliklerini ve dirençlerini kaybederek taşıma performanslarını önemli ölçüde yitirmekte ve ani çökmeler meydana gelmektedir. 2001 yılında New York'ta İkiz Kulelere yapılan saldırı sonrasında yaşanan çökme olayı buna örnek gösterilebilir (Sevimli, 2002).

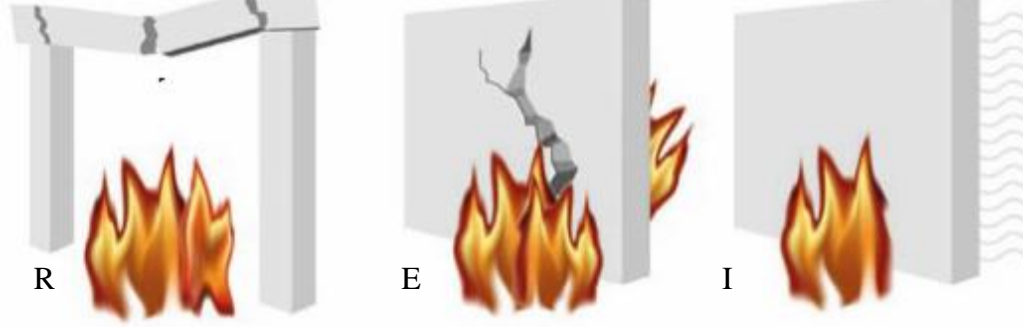
2.5. Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangın Tasarım Süresi

Yangın tasarım süresi terimi; binanın, tasarlandığı yangına maruz kalma süresidir ve tanımı, üstlenilen tasarımın türüne bağlıdır. Standart bir tasarım için yangın tasarım süresi, standart yangına belirli bir maruz kalma süresi olarak ifade edilen, ilgili bina yönetmeliğinde belirtilen yangına dayanıklılık derecesinin süresidir; genellikle 30, 60, 90 veya 120 dakikadır. Performansa dayalı bir tasarım için ise yapısal bir çökmenin veya yangının yayılmasının sonuçlarına bağlı olarak, yangın tasarım süresi tasarımcı ve yönetmelikler tarafından 5 kriter ile belirlenir:

1. Bina sakinlerinin binadan kaçması için gereken süre,
2. İtfaiyecilerin kurtarma faaliyetlerini yürütme zamanı,
3. İtfaiyecilerin yangını çevreleme ve kontrol altına alma zamanı,
4. Yangın şiddetinin yangın direncini aştığı, sonrasında yangının yayılabileceği ve/veya yapının çökebileceği zaman,
5. Yangın kompartımanında yanma süresi (Buchanan & Östman, 2022).

Dünyadaki çoğu yangın yönetmeliği, Şekil 15'te gösterildiği gibi yapısal yeterlilik veya yük taşıma (R), bütünlük (E) ve yalıtım (I) olmak üzere üç fonksiyon için ayrı ayrı gerekli yangın direnci süresi R/E/I'yi belirtir. Yapısal yeterlilik (R), bir yapının kararlılığını ve yük taşıma kapasitesini koruma yeteneği anlamına gelir. Bütünlük (E), bir yapının alevlerin ve sıcak gazların geçişine direnme yeteneğidir. Yalıtım (I) ise yapının yangına maruz kalmayan yüzeyde sıcaklığı belirtilen limitlerin altında tutabilmesi anlamındadır. Bu nedenle, bir duvar için 90/60/30 REI gerekliliği, duvarın 90 dakika boyunca yapısal yeterliliği, 60 dakika boyunca bütünlüğü ve 30 dakika boyunca yalıtımı muhafaza etmesi gerektiğini ifade etmektedir (URL-10, 2023). Örnek olarak bir taşıyıcı duvarın yangın direnci derecesi 60/60/60 (REI 60) olabilir, bu da yapısal yeterlilik, bütünlük ve yalıtım için

bir saatlik bir derecelendirmenin gerekli olduğu anlamına gelir. Aynı duvar yük taşımyorsa, belirtilen yangına dayanıklılık derecesi -/60/60 (EI 60) olacaktır (Werther vd., 2012)



Şekil 15. Yapısal yeterlilik (R), Bütünlük (E) ve Yalıtım (I) (URL-21, 2023)

2.5.1. Yangın Yayılımının Kontrol Edilmesi

Binalarda yangından korunma, küçük yangınların büyümesini veya çıkış odasının dışındaki odalara yayılmasını önlemeyi amaçlar. Bina genelinde yayılan yangının kontrolü dört kategoriye ayrılmaktadır; yangının çıkış odası içinde yayılması, aynı kattaki diğer odalara yayılması, kattan kata dikey olarak yayılması ve diğer binalara yayılmasıdır.

Yangının çıkış odası içinde yayılması, büyük ölçüde başlangıçta yanan nesnelerin ısı yayma hızına ve yakındaki herhangi bir yanıcı nesnenin varlığına bağlıdır. İlk yangın yayılması, alev çarpması veya yanan bir nesneden diğerine radyan ısı transferinden kaynaklanabilir. Yangın büyüdükçe, sıcak gazların tavanın altında hareketi, yangının odanın diğer bölümlerine yayılmasına neden olmaktadır. Oda, duvarlarda ve özellikle tavanlarda hızlı alev yayılmasına duyarlı yanıcı malzemelerle kaplanırsa yangın yayılma hızı artacaktır (Buchanan & Östman, 2022). Bu sebeple çoğu ülke yönetmeliklerinde az katlı ahşap yapılarda kaçış yollarında, çok katlı ahşap yapılarda da yapının belirli bir kısmında yer alan kaplamaların tutuşabilirlik ve alev yayma özelliklerine kural koyan yasalar bulunmaktadır.

Yangın ve dumanın aynı kattaki diğer odalara yayılımı, bina yangınlarında ölümlere neden olan önemli bir faktör olmuştur. Bu yayılma hareketi büyük ölçüde binanın düzenine bağlıdır. Açık kapılar, duman ve zehirli yanma ürünlerinin yangının çıktığı odadan bitişik odalara veya koridorlara geçmesi için bir yol sağlayabilir. İnsanların genellikle yangının çıktığı odadan uzak bir alanda dumandan hayatlarını kaybettikleri görülmüştür. Bu sebeple

yangını yangın kompartımanında tutmak için kaçışlara izin vermemek önemli bir rol oynamaktadır (Buchanan & Östman, 2022). Bölmeler arasındaki geçişler kendiliğinden kapanan otomatik yangına dayanıklı sızdırmaz kapılarla kapatılabilir ve sızıntıları önlemek için yangın bariyerleri projeye dahil edilebilir.

Yangının kattan kata dikey olarak yayılması, tüm çok katlı binalarda bir tehlikedir ve bina yüksekliği arttıkça olası sonuçlar daha şiddetli hale gelir. Yangın, binanın içinde ve dışında çeşitli yollarla diğer katlara yayılabilir. Servis geçişleri, düşey kanal ve şaftlar, merdivenler ile yangının diğer katlara yayılımı gerçekleşir. Düşey yayılımı engellemek için servisler korumalı bir kanal içine alınmalı veya her kat seviyesinde yangın durdurucu önlemlere sahip olmalıdır. Düşey yangın yayılımı, bina kabuğunun dışında, dış duvarların içindeki veya üzerindeki yanıcı maddeler yoluyla veya pencereler ve boşluklar yoluyla da meydana gelebilir (Buchanan & Östman, 2022).

Yangının diğer binalara yayılması, bitişik binalara alev teması yoluyla veya pencere gibi açıklıklardan kaynaklanmaktadır. İç duvarlarda ve tavanlarda açıkta kalan geniş ahşap yüzeylerin, açıklıkların dışındaki dış alevlerin şiddetini arttırdığı bilinmektedir. Dış duvarlar, yangın süresince yerinde kalabilmek için yeterli yapısal yangın direncine sahip olmalıdır. Dış duvarların dışa doğru çökmesi, itfaiyeciler ve etraftakiler için büyük bir tehlike oluşturabilir ve yangının bitişik binalara daha fazla yayılmasına yol açabilir (Buchanan & Östman, 2022). Bir binaya rüzgarın hakim olduğu cephedeki açıklıklar sebebiyle yüksek sıcaklıklar eşlik edebilir ve bu durum özellikle çok katlı binalarda yangınla mücadeleyi zorlaştırabilir (Kerber, 2009).

2.6. Çok Katlı Ahşap Yapılarda Yangından Korunma Yöntemleri

Yangın güvenliği; önleme, algılama, tahliye, muhafaza ve söndürmeyi içerir. Yangın önleme temel olarak, ısı kaynağını veya yanıcı malzemeleri kontrol ederek malzemelerin sürekli tutuşmasını önlemeyi amaçlar. Bu önlemler, binanın ve içeriğinin uygun tasarımını, kurulumunu ve bakımını içerir (White & Dietenberger, 2010).

Uluslararası Köprü ve Yapı Mühendisliği Birliği (IABSE), çok katlı binalarda ahşap kullanımına ilişkin bir Yapısal Mühendislik Belgesi (SED) yayınlamıştır (Smith & Frangi, 2014). Bu belge, binaların yüksek katlarında çıkan yangınlar sırasında binadan çıkılamayacağı ve yangınların söndürülemeyeceği senaryosuna dayalı olarak çok katlı binalar için yangın güvenliği senaryolarını içermektedir. Bu senaryoya göre; taşıyıcı yapı

elemanları, tam yanma sırasında yapısal çökmelerini önleyecek şekilde tasarlanmalıdır ve çok katlı ahşap binalar için pasif ve aktif yangın koruma yöntemleri yangın güvenliğini sağlamalıdır.

2.6.1. Pasif Yangın Önlemleri

Pasif yangın önlemleri için, malzeme, ürün ve elemanların kullanımıyla binanın yangın koruma yöntemleri belirlenir (De Jong, 2017). Pasif yangın önlemleri;

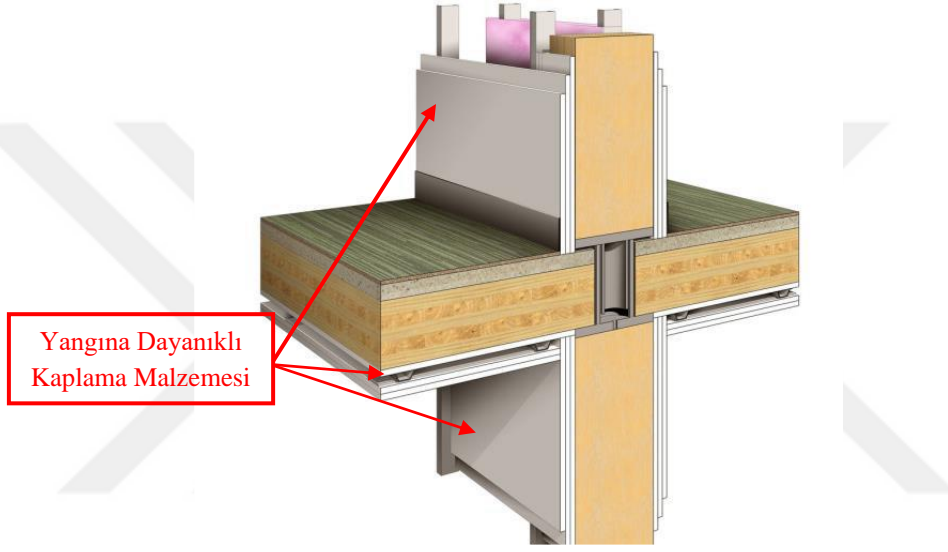
- Kömürleşme,
- Kapsülleme,
- Hibrit strüktür tasarımı,
- Yangın geciktirici kaplamalar
- Yangın durdurucu bariyerler olmak üzere 5 başlıkta incelenmiştir.

Kömürleşme, ahşap malzemenin yeterli miktarda ısıya maruz kalması ile kütle kaybı ve beraberinde yanıcı gazlar üreten bir termal bozunma (piroliz) süreci gerçekleşmesiyle oluşur. Daha sonra yangına maruz kalan yüzeylerde kömürleşmiş bir yangın tabakası oluşur ve kömür tabakasının kalınlığı yangın ilerledikçe büyüyerek malzemenin enine kesitini azaltır. Kömür tabakası iyi bir yalıtıcıdır ve kalan kömürleşmemiş kesiti ısıya karşı korumaktadır (Klippel & Schmid, 2017). Tasarlanan yangına dayanıklılık süresine ulaşmak için, kömür tabakasının arkasında, uygulanan yükleri taşıyabilecek yeterli kalınlıkta masif ahşap malzeme kalmalıdır (URL-22, 2022). Şekil 16'da Carbon12 binasının 3 saatlik yangın testi sonucu CLT paneldeki kömürleşen tabakası gösterilmektedir (URL-23, 2023). Yangın esnasında ahşap elemanın enine kesiti zamanla azalacaktır, bu sebeple kesit artırarak pasif yangın önlemi alınabilir.



Şekil 16. Carbon12 yapısının yangın testi sonucu CLT paneldeki kömür tabakası (URL-24, 2023)

Kapsülleme yönteminde amaç, ahşap malzemenin alev ile temasını gerekli yangına dayanıklılık süresi boyunca bir kaplama malzemesi yardımı ile kesmektir (Şekil 17). Ahşap elemanlar; alçı panel, çimentolu yonga levha, yangına dayanıklı cam veya yanıcı olmayan bir yalıtım malzemesi (taş yünü, cam yünü, cam köpüğü vb.) ile kaplanabilir (De Jong, 2017). Kapsülleme sağlayan koruyucu malzemelerin performanslarının yangın testiyle kanıtlanması gerekir, çünkü malzeme bağlantı noktalarında ve arayüzlerinde bozulma meydana gelebilir.



Şekil 17. Kapsülleme yöntemi (URL-25)

Kanada'da 2017 yılında inşa edilen 13 katlı Origine yapısının duvar ve zemin katmanları laboratuvar ortamında simüle edilerek bir yangın testi gerçekleştirilmiştir. Duvarda kullanılan CLT panelin iki yüzeyi, döşemedeki CLT panellerin üst yüzeyi yangına dayanıklı alçı panel ile kaplanmıştır. Kullanılan CLT panellerin 1 saatlik yangına dayanım süresi mevcuttur ve yangın testlerinin sonucunda duvarların yangın dayanım süresi 3 saat 39 dakika, döşemenin ise 2 saat 8 dakika çıkmıştır (Osborne vd., 2012).

Hibrit strüktür tasarımında yapının bir bölümünün betonarme veya çelik malzeme kullanılarak tasarlanması, binanın taşıyıcılığına ve yangından korunumuna destek olmaktadır (Şekil 18). Merdiven, asansör gibi bina çekirdeğinin ve/veya zemin katın betonarme inşası çok katlı ahşap yapılarda sıklıkla görülen bir uygulamadır (URL-26, 2021). Bu durum, bazı ülke yönetmeliklerinde de kesin kurallar ile belirtilmiştir.



Şekil 18. Hibrit strüktür tasarım örneği (URL-27, 2021)

Bir diğer pasif yöntem olan yangın geciktirici kaplamalar çok katlı binalarda ahşap malzemeye sürülerek uygulanan, taşıyıcı ahşap elemanların ve iç mekân ahşap ürünlerinin yangından korunması için kullanılır. Ahşap malzemenin doğal dokusunun görünürlüğünü engellemek için genellikle saydam ve yarı saydam kaplama malzemesi seçilmektedir. Yangın geciktiricilerle işlenmiş masif ahşap kaplamaların bakım aralığı; yapıya, hava şartlarına maruz kalma durumuna ve işleme yöntemine bağlı olarak 5 ila 15 yıl arasındadır. İç mekan kullanımında ise yüzeyler mekanik olarak hasar görmediği sürece yangından koruma özelliklerini kullanım ömrü boyunca koruyacaktır (URL-28, 2021). Yangın geciktirici kimyasal kaplamalar, uygulandıkları malzemeye yanmaya karşı direnç özelliği kazandırmalarının yanı sıra malzemenin diğer özelliklerinde de iyileştirmeler gösterebilir (Dönmez, vd.,2007). Şekil 19’da bir okul binasının cephesine uygulanan kaplamanın ısıya maruz kaldığında şişerek yalıtkan bir film tabakası oluşturması ve yüzey yanıcılığını azalttığı görülmektedir (Hundhausen & Mahnert, 2015). Yangın geciktirici kaplamaların dezavantajı, geri dönüşümü etkilemesidir. İç hava kalitesi üzerindeki etkileri de gözden geçirilmelidir (Winter,2018).



Şekil 19. Ahşap yüzeye yangın geciktirici kaplama uygulaması (URL-28, 2021)

Yangın durdurucu bariyerler; ahşap elemanların duvar, döşeme ve tavan birleşim noktalarından, tesisat için açılan veya cephe boyunca devam eden boşluklardan yangının yayılımını önlemeyi hedeflemektedir (URL-29 ve URL-30, 2023). Yangın durdurucu bariyerler (yangın şeritleri, köpükler, alçı esaslı harçlar, silikon mastik vb.), malzemelerin bir araya gelerek oluşturduğu yüzeylerin birleşim noktalarından yangın esnasında çıkan gaz ve dumanın sızıntısını belirli bir süre boyunca engellemeyi sağlamaktadır (Şekil 20) (URL-31 ve URL-32, 2023).



Şekil 20. Origine yapısında yangın durdurucu macun uygulaması (URL-32,2023)

2.6.2. Aktif Yöntemler

Aktif yöntemler, büyüme aşamasında yangını söndürmek ve parlamayı önlemek için bir yangının hızlı algılanmasını sağlar. Erken algılama ayrıca insanlara tahliye için zaman ve eşyalarını çıkarma imkanı verir. Sprinkler (duman veya ısı algılama sistemleri), bu

yöntemlerde benimsenen yangın söndürme önlemidir ve çok katlı binalarda bu tür önlemlere sıkça rastlanmaktadır (De Jong, 2017).

Sprinkler ile söndürme sistemi, ilk olarak piyano fabrikasını korumak için ABD' li Henry Parmale tarafından 1870'li yıllarda icat edilmiştir. Dünyada kullanımı ve yaygınlaşması ise; çok daha öncelere dayanmaktadır (URL-33, 2021). Sprinkler sistemleri, yangına erken müdahale edilmesini sağlayan sistemlerdir. Şekil 20'de görüldüğü gibi sistemde tavan boyunca yerleştirilen borular ve borulara takılan sprinkler başlıkları belirli noktalara yeterli sayıda yerleştirilir (Purpura, 2013). Yangın sırasında açığa çıkan ısının etkisiyle katı bağlantı elemanının erimesi ya da cam bir ampul içinde bulunan sıvının sıcaklık etkisiyle genişleyerek ampulü kırması sonucu suyun önü açılır ve su, yangının bulunduğu ortama akar. Bakımı iyi yapılan sprinkler sistemleri oldukça güvenilirdir, can ve mal güvenliğinin korunmasında etkilidir. Amerika'da Ulusal Yangından Korunma Kurumu NFPA'nın kayıtlarına göre incelenen 80 binin üzerinde yangın olayında sprinkler sistemlerinin %96.2'lik bir yüzdeyle yangınları söndürdüğü görülmüştür (Kılıç, 2003).



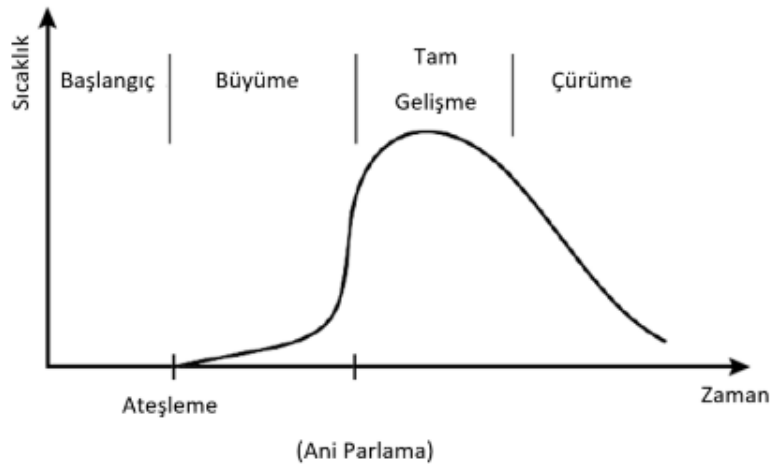
Şekil 21. Sprinkler başlığı ve çalışma sistemi (URL-33 ve URL-34, 2021)

2.7. Kompartıman Yangınları

Döşeme, tavan ve duvarlar ile tanımlı olan mekanlara kompartıman, hücre veya bölme denmektedir. Bir yangın kompartımanı; tek bir oda, bütün bir daire veya birkaç odalı mesken veya bir binanın tüm katı olabilir.

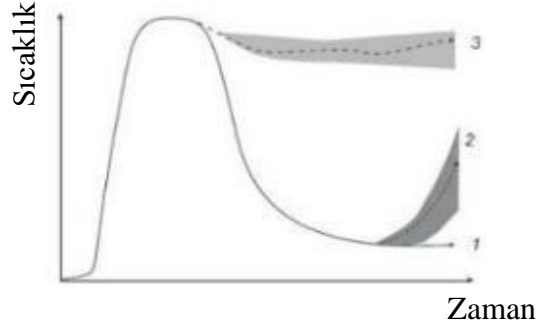
Kompartıman yangınlarındaki zaman sıcaklık eğrisi, hücre içerisindeki yangının gelişme aşamaları hakkında bilgi vermektedir. Standart bir kompartıman yangını aşamaları; başlangıç, büyüme, tam gelişme ve çürüme şeklindedir. Yangın, potansiyel yakıtın yanmaya başlamasıyla tutuşarak büyür ve yanan yakıt maddesinin alevli yanmasından kaynaklanan

etrafındaki maddelerin tutuşmasıyla büyüme evresine geçer. Isınan gazlar yükselerek tavan boyunca yayılır ve sıcak bir üst tabaka oluşturur. Üst katman sıcaklığı 500–600°C'yi aşarsa yer seviyesindeki yakıt tutuşacak ve hızla yayılan bir yangınla sonuçlanarak, büyüme aşamasından tam gelişmiş aşamaya geçiş olan flashover'a (ani parlama) yol açacaktır. Tüm yakıtın yanarak tükenmesiyle çürüme aşamasına geçiş başlar. Yangının tam gelişmiş aşaması genellikle yapısal elemanları ve bölme sınırlarını etkileyen aşamadır ve ahşap malzeme, yanma olayı bitse dahi içten içe yanmaya devam edebilir. Bu nedenle itfaiyeciler tarafından kontrol edilmelidir. Şekil 21, yangın sürecindeki bir hücrenin sıcaklık-zaman eğrisini göstermektedir. Kompartıman yangınlarında hücre içerisindeki yakıt maddesi küçük, izole edilmişse veya yanmayı destekleyecek yeterli hava yoksa yangın gelişim süreci farklı olabilir (Barber vd., 2021).



Şekil 22. Hücre yangını sıcaklık – zaman grafiği (Barber vd., 2021)

Günümüze kadar gerçekleştirilen çok sayıda kompartıman yangını deneyinden elde edilen en önemli bulgu, kompartımanın iç yüzeyindeki açıkta kalan ahşabın kompartımanın yangın dinamiklerini, özellikle de yangının büyümesini, yangın süresini ve yangının çürümesini etkilediğidir. Şekil 22, farklı durumlarda ortaya çıkan yangın gelişim eğrilerini göstermektedir. Eğri 1, standart bir yangında beklenen olası senaryoyu göstermektedir. Yangın başlar, gelişir ve çürüyerek sonlanır ancak malzemenin olası bir yapıştırıcı hattı arızası nedeniyle yangın eğri 2'deki gibi yeniden büyüyebilir. Daha büyük miktarlarda ve yangın önlemi alınmamış açıkta kalan ahşap malzemeler varsa "3" eğrisinde gösterildiği gibi yangın devam edebilir (Barber vd., 2020).



Şekil 23. Kompartıman yangını gelişim süreci (Barber vd., 2020)

Yangından sonra mekanların iç hava kalitesi ve herhangi bir yangın güvenliği önleminin işlevselliği kontrol edilerek yangın söndürme suyunun yol açabileceği olası hasarlar da dikkate alınarak yeniden kullanım, ahşap elemanların ek olarak kaplanması ve yangın sonrası yük taşıyan ve taşımayan elemanların yerine taşıyıcılığı destekleyecek çözümler tasarlanmaktadır (Buchanan & Östman, 2022).

2.7.1. Kompartıman Yangın Deneyleri

Çeşitli ahşap yapılar ve malzemeler üzerinde gerçekleştirilen yangın testleri, çok katlı ahşap yapıların yangın dayanımlarının yeterli seviyede olabileceğini ortaya koymuştur. NIST, FM Global, Kanada Ulusal Araştırma Konseyi ve Ottawa, Fransa, Japonya ve Avustralya'daki Carlton Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen büyük ölçekli yangın testleri, bina yüksekliğinin önemli bir kriter olduğunu göstermiştir (Tupenaite vd., 2021).

Hoehler ve arkadaşları tarafından (2018) 6 adet büyük ölçekli yangının gerçekleştirildiği kompartıman testinde, CLT panel ve mobilyalar kullanılarak deney düzeneği hazırlanmış, CLT malzeme alçı panel ile kaplanmıştır. Deneyin sonunda alçı levhanın CLT'nin yangına katılımını engelleyebildiği veya geciktirebildiği sonucuna varılmıştır. Yangın nedeniyle oluşan delaminasyonu en aza indirmenin mümkün olduğunu gösteren deneysel çalışma sonucunda, CLT'de ısıya dayanıklı yapıştırıcıların kullanılması önerilmiştir (Hoehler vd., 2018)

Ottawa Ulusal Araştırma Konseyi tarafından gerçekleştirilen farklı bir deneyde Origine binası kapsamlı bir şekilde yangın testine tabi tutulmuştur. CLT duvar ve döşeme panelleri projede yer aldığı şekilde X tipi alçı panel (yangın direncini artırmak için özel katkı ile üretilen alçı panel) ile kapsüllenmiştir. Test sonuçları duvar için 3 saat 39 dakika, döşeme için 2 saat 8 dakika yangın dayanımı göstermiştir. Test sonucu, projedeki CLT yapı

elemanının yangın durumunda istenen dayanımı yerine getirdiğini kanıtlarken, pasif yangın korumasının yangın dayanımında önemli bir rol oynadığını göstermiştir (URL-35, 2023).

Kanada Ulusal Araştırma Konseyi tarafından gerçekleştirilen (2014) deneyde CLT panel ile inşa edilen merdiven ve asansör evinin 2 saatlik bir yangına dayanımı test edilmiştir. Deney sonucu CLT panellerde bozulma olmadığı görülmüştür. Bu sonuç ile masif ahşaptan inşa edilen merdiven/asansör boşluğunun, yangına dayanıklı malzemeler kullanılarak yapılmış merdiven/asansör boşluğu kadar güvenli olduğu kanıtlanmıştır (URL-36).

Brandon ve arkadaşları (2021) masif keresteden inşa edilmiş bir yapının performansını gözlemek için 3 tam ölçekli yangın testi yapmıştır. Bu test serisinde dikkate alınan birincil değişken, ateşe maruz kalan masif ahşabın miktarıdır. 1. deney düzeninde tüm masif ahşap yüzeyler yangına dayanıklı alçı panel ile kaplanmıştır, açıkta kalan masif ahşap yüzey bulunmamaktadır. 2. düzenekte tavanın %30'luk kısmı açıkta bırakılmıştır ve diğer tüm yüzeyler X tipi alçı panel ile kaplanmıştır. 3. deneyde tüm masif ahşap yüzeyler açıkta bırakılırken sprinkler sistemi deneye dahil edilmiştir. İlk iki deney, Şekil 23'te de görüldüğü gibi 4 saatlik süre boyunca takip edilmiştir ve yangının ani parlaması (flashover) koşullarına ulaşıldıktan sonra yoğunluğunun azalarak söğüm aşamasına geçtiği gözlemlenmiş ve açıkta bırakılan masif ahşapların kendi kendine söndüğü görülmüştür. İlk iki düzenekte gerçekleştirilen deney sonunda alçı paneller kaldırıldığında masif ahşap yüzeylerin birleşim noktalarında hafif kömürleşmeler gözlenirken, yüzeylerin büyük çoğunluğu yangından etkilenmemiştir. 2. deneyde, açıkta bırakılan masif ahşapta kömürleşme tabakasının oluştuğu ve zamanla soğuduğu gözlemlenmiştir. 3. deneyde sprinkler sistemi, 2. dakikada devreye girerek yayılmadan yangını söndürmeyi başarmıştır (Brandon vd., 2021)



Şekil 24. Yangın deneyinden fotoğraflar (Brandon vd., 2021)

2.8. Ülkelerin Ahşap Yangın Yönetmelikleri

Ülkeler, ahşap binada yangın çıkması durumunda canlarını ve mallarını korumak için yangın yönetmeliklerini ulusal bazda yayımlamaktadır. Bu yönetmeliklerin ortak hedefleri; yük taşıma kapasitesinin belirli bir süre boyunca korunması, yangının oluşmasının ve yayılmasının sınırlandırılması, yangının komşu binalara yayılımının sınırlandırılması, bina sakinlerinin binayı güvenli şekilde terk edebilmesi ve kurtarma ekiplerinin güvenliğinin sağlanmasıdır (Östman, 2017). Yönetmeliklere olan bağlılık, yangın güvenliğinin artmasını sağlamaktadır. Yasa yetkilileri, alternatif malzemeleri ve yapım yöntemlerini onaylama ve eşdeğer yangından korunma ve yapısal bütünlük belgelendiğinde kuralların hükümlerini değiştirme hakkına sahiptir (White & Dietenberger, 2010).

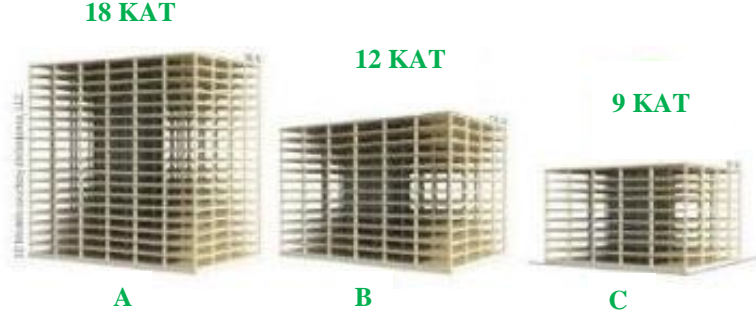
Geçmişte çoğu ülkede yangın güvenliği için kuralcı bina kodları tercih ediliyorken günümüzde tasarımcıların bina yönetmeliğinin performans gerekliliklerinin karşılanabileceğini göstermek için yangın yöntemlerini kullanmalarına izin veren performansa dayalı bina kodları mevcuttur. Kuralcı kodlar, bir binanın nasıl inşa edileceğini belirlerken, performansa dayalı kodlar binanın çeşitli koşullar altında nasıl performans göstereceğini belirler. Avustralya, Yeni Zelanda ve bazı İskandinav ülkeleri performansa dayalı kodları kullanırken çoğu ülke kuralcı kodları kullanmaya devam etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve İsviçre son yıllarda yönetmeliklerini geliştirerek performansa dayalı kodlara yönelmeye başlamışlardır (Buchanan & Östman, 2022).

Tez kapsamında incelenen yapılar doğrultusunda Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa, Avustralya ve Kanada ahşap yapı yangın yönetmelikleri incelenmiştir.

2.8.1. Amerika Birleşik Devletleri Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği

ABD'deki 50 eyaletin tümü Uluslararası Kod Konseyi (International Code Council, ICC) ve Uluslararası Yapı Kodu (The International Building Code, IBC)'nu kabul etmektedir. Her eyalet mevcut kodları uyarlar veya değiştirir. New York City ve Chicago gibi bazı eyaletlerin kendi bina kodları vardır. Kuzey Amerika'da ise CLT malzemede yapılan yangın deneyleri sonuçları ülkede çok katlı binaların kullanımında önemli bir artış sağlamakla beraber yönetmeliklerde esnekliğe sebep olmuştur. IBC, itfaiyeciler için erişim ve ekipman sağlayan ve yangının komşu binalara yayılmasını önleyen yangından korunma gerekliliklerine sahiptir. Binanın yangından korunması, yükseklik ve alana göre değişmektedir. IBC, çok katlı olarak tanımlanan, 22,9 m'den yüksek binaların yangına karşı

korumasının ve yapısal performansının artırılmış düzeyde olmasını şart koşmaktadır (ICC, 2021). Şelik 24'te ABD Uluslararası Yapı Kodu (The International Building Code, IBC)'ne göre bina sınıflandırması görülmektedir ((URL-37, 2022).



Şekil 25. ABD Uluslararası Yapı Kodu (IBC)'na göre bina sınıflandırması (URL-37, 2022)

IBC'ye göre beton ve çelik malzemeden inşa edilen yapı yanmaz yapı iken ahşap malzemeden inşa edilen yapı yanıcı yapı olarak adlandırılır. 2021 itibariyle IBC önemli ölçüde değişerek çok katlı masif ahşap inşaatlara izin vermiştir. Çok katlı masif ahşap yapılarda 12 kata kadar olan binalar için 120 dakika, 18 kata kadar olan binalar için 180 dakika yangına dayanıklılık dereceleri gerekmektedir ve tüm masif ahşap binaların sprinkler sistemi ile korumalı olması istenmektedir. Kod değişiklikleri; geliştirilmiş yangınla mücadele ve yağmurlama suyu temini için ek yangın güvenliği önlemlerini, gizli alanlar için korumayı, masif ahşap için yanmaz alçı levha korumasına yönelik özellikleri ve inşaat sırasında yangın güvenliği önlemlerini içermektedir. Yönetmelikler, dört katın üzerindeki masif ahşap binalarda kaplama ve bileşenlerin kullanımına izin vermemektedir (URL-38, 2022).

2.8.2. Avrupa Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği

Avrupa'da yayımlanan ahşap binaların yangın güvenliğine ilişkin ilk kılavuz, uluslararası bir ekip tarafından hazırlanmıştır. Bu belge, ahşap binaların diğer malzemelerden inşa edilen binalarla benzer yangın güvenliği performansına sahip olacak şekilde plan ve tasarım yöntemleri sunmaktadır (Östman, 2017). Binalarda yangın güvenliğini sağlamak için performans sınıfları, yangın performansı için test etme ve hesaplama standartlarını içeren bir Avrupa sistemi, 1988 yılında Yapı Malzemeleri Direktifi (CPD) tarafından tanıtılmıştır. CPD'nin yerini 2013 yılında Yapı Malzemeleri Yönetmeliği

(CPR) almıştır. Ana değişiklik, CPR'nin tüm Avrupa ülkelerinde uygulanmasının zorunlu olmasıdır.

Uyumlandırılmış ürün standartları, farklı yapı ürünleri için gereksinimleri belirtir ve belirli ürünler için Avrupa mevzuatına uygunluğu beyan etmek üzere CE işaretinin kullanılmasının temelini oluşturur. Tüm yapı malzemeleri için yangın özelliklerinin beyan edilmesi zorunludur. Yapı mühendisliği için, Avrupa'daki tasarım kurallarını standart hale getirmek amacıyla, yapılar için Eurocodes adı verilen bir dizi Avrupa tasarım standardı yayınlanmıştır. Ahşap yapılar için Eurocode 5 kullanılmaktadır ve 2025'te yeni bir versiyonun yayınlanması planlanmaktadır (Dimova vd., 2019). Yapı ürünlerinde A1 ve A2 sınıflarının ahşap ürünlerle ulaşılamayan yanıcı olmayan ürünler olduğu; döşemeler hariç ürünler için A'dan F'ye kadar yangına tepki sınıflarına sahip bir sistem tanımlanmıştır. Yapılar için sınıflandırma, daha önce birçok ülkede kullanılan ve ahşap strüktüre sahip yüksek binaların inşa edilmesine engel oluşturan yanmazlık gerekliliklerini içermeksizin stabilite (R), bütünlük (E) ve yalıtım (I) parametrelerine dayanmaktadır.

Yangın testi ve sınıflandırma yöntemleri Avrupa çapında uyumlandırılmıştır, ancak yangın güvenliği ulusal mevzuat tarafından yönetilmektedir (Östman, 2017). Dolayısıyla her ülke kendi içinde standartlar belirlemiştir. Örnek olarak Tablo 3'te kat sayısına göre istenen yangın performansları ve sprinkler sistem entegre edilen ve edilmeyen yapıların kat sınırlılıkları gösterilmiştir (Buchanan & Östman, 2022).

Tablo 3. Avrupa ülkelerinin kat sayı sınırlılıkları (Buchanan & Östman, 2022)

Ülke	Maks. Kat Sayısı		Gerekli Yangın Dayanımı Süresi (dakika)			
	Sprinkler var	Sprinkler yok	1-2 kat	3-4 kat	5-8 kat	8 kat ve üstü
Almanya	7-8	7-8	30	60	90	-
Avusturya	7	7	30-60	30-90	60-90	-
Bulgaristan	1-2	4	-	30	60	120
Danimarka	3-4	3-4	60	60	-	-
Finlandiya	2	8	30	60	60	-
Fransa	16	16	15-30	30-60	60	90-120
İrlanda	3	4	30	30-60	-	-
İtalya	Sınır yok	Sınır yok			60	90-120
İspanya	Sınır yok	Sınır yok	30	60	90	120
İsveç	Sınır yok	Sınır yok	60	60	60-90	90

Almanya; cephe, dış duvar ve iç mekandaki görünür ahşap yüzeyleri 8 kat ile sınırlandırırken iç mekandaki tavan ve döşemelerde ek yangın önlemleri isteyerek maksimum 8 kata izin vermektedir. Kaçış yollarında sprinkler sistem kullanılmaması durumunda döşemede görünür ahşap yüzeye 8 kat sınırı getirirken, duvar ve tavanda ahşap kullanımına izin vermemektedir. Avustralya cephede ve dış duvarlarda kullanılan görünür ahşap malzeme için 6 kat sınırlandırması yapmaktadır. Daire içlerindeki görünür ahşap yüzeylerin sınırlandırması bulunmamaktadır. Bulgaristan; kaçış yollarında görünür ahşap malzemeye izin vermemektedir. Danimarka; cephe ve dış duvarlardaki görünür ahşap yüzeyleri sprinkler sistem kullanılmıyorken 1 kat, kullanılıyor iken 2 kat olacak şekilde sınırlandırmaktadır. Kaçış yollarında görünür ahşap kullanımına izin vermemektedir. Finlandiya; cephe ve dış duvarlarda görünür ahşap yüzey kullanımını sprinkler kullanılması halinde 8 kat, sprinkler kullanılmaması durumunda 2 kat ile sınırlandırmıştır. İç mekandaki tavan, döşeme ve duvar için sınırlandırma getirmiyorken kaçış yollarındaki görünür ahşap yüzeylere izin vermemektedir. İrlanda; kaçış yollarındaki tavan ve duvar yüzeylerinde görünür ahşap malzeme kullanımına izin vermemektedir. Cephelerde ise sprinkler sistemsiz 4 kata kadar görünür ahşap kullanımını sınırlandırması bulunmaktadır. Fransa; cephede ve dış duvarlarda 9 kata kadar görünür ahşap malzeme uygulamasına izin vermekte, kaçış yollarında ise döşeme, duvar ve tavanda ahşap uygulamasına izin vermemektedir. İtalya; cephe ve dış duvarlarda 8 kata kadar ek önlemler alınması şartıyla görünür ahşap yüzey kullanımına izin veriyorken kaçış yollarının döşeme, duvar ve tavan yüzeylerinde izin vermemektedir. İspanya 3 kata kadar cephe dış duvarlarda görünür ahşap malzeme kullanımına izin veriyorken kaçış yollarında görünür ahşap malzeme kullanımına izin vermemektedir (Buchanan & Östman, 2022).

2.8.3. Avustralya Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği

Avustralya'da bina inşası için tüm performans gerekliliklerini içeren yönetmelik Ulusal İnşaat Kodu (National Construction Code, NCC), performansa dayalı bir kanundur. 2022 yılında güncellenen yönetmelikte yangın performansı iki şekilde ele alınmıştır. İlki performansa dayalı çözümleri içeren Performans Çözümleri (Performance Solution, PS), ikincisi ise Kuralcı Çözümler (Deemed To Satisfy Solution, DTS)'dir. Diğer ülkelerdeki kuralcı yönetmeliklere benzeyen DTS çözümleri, performans gereksinimlerini karşıladığı

kabul edilen malzemeleri, bileşenleri, tasarım faktörlerini ve yapım yöntemlerini tarif etmektedir. Avustralya yönetmeliği binaların ve yapı elemanlarının karşılaması gereken minimum seviye gereksinimlerini belirleyerek PS çözümlerini sunmaktadır. PS; yapısal stabilite, yangının bina içi ve bina dışına sıçraması, güvenli tahliye koşulları, itfaiye erişimi, servis acil durum ekipmanı ve açıklıklarının yangından korunmasını kapsamaktadır. PS, yenilikçi tasarım ve teknoloji kullanımını teşvik eder ve DTS'nin karşılanmadığı durumlarda kullanılır (URL-39, 2023). Avustralya'daki çoğu ahşap yapı DTS ve PS'nin kombinasyonu çözümler kullanmaktadır.

Avustralya yönetmeliği konut yapılarında taşıyıcı sistemde istenilen yangın dayanımını 1-2 katlı binalar için 30 dakika, 8 kata kadar 90 dakika ve 8 kat üstü ofis yapılarında 120 dakika olarak kabul edilmektedir. Sprinkler sistemi kullanılmayan binalar için 3 kat sınırı mevcuttur, sprinkler sistemi kullanılan binalarda kat sayısı 8 ve yükseklik 25 m ile sınırlandırılmıştır. Avustralya'da, Avustralya yönetmeliğine göre 25 m veya daha yüksek binalarda dış cephede ahşap kaplama sistemlerine izin verilmez çünkü yangın geciktiricilerle işlendiğinde bile, reaksiyona uygunluğunu göstermek için kullanılabilir dört tam ölçekli yangın testinden herhangi birinin kabul kriterlerini karşılayamaz (URL-39, 2023; Buchanan & Östman, 2022).

2.8.4. Kanada Ahşap Yapı Yangın Yönetmeliği

Kanada eyaletleri Kanada Ulusal Yapı Kodu (National Building Code of Canada, NBCC)'nu kullanmaktadır. Son değişikliği 2020 yılında yayınlanan yönetmelik, kuralcı çözümler veya minimum performans düzeyine ulaşacak alternatif çözümler kullanılarak uyumluluğun sağlanabildiği, hedefe dayalı bir koddur. Alternatif bir çözümün ölçeğine ve kapsamına bağlı olarak, genellikle il veya belediye makamları tarafından onaylanmaktadır (URL-40, 2023). Bu yönetmelik kapsamındaki önemli değişiklik; ahşap yapılar için belirlenen 6 kat sınırının, 12 kat (42 m) olacak şekilde güncellenmesidir.

NBCC'nin 2020 baskısı, kapsüllenmiş masif ahşap elemanlar kullanılarak bir dereceye kadar yangın güvenliğinin elde edildiği Kapsüllenmiş Masif Ahşap Yapı (Encapsulated Mass Timber Construction, EMTC) adlı yeni bir yapı türünü içermektedir. Yapısal elemanlar ve diğer yapı grupları için minimum boyutlar, konut ve ofis kullanımları için 12 kata kadar EMTC kullanımına yönelik kuralcı hükümler sağlanmıştır. Bu yeni yapı türü, masif ahşap yapının gelişmiş yangın performansını onaylar (URL-41, 2023).

Kanada ahşap yapı yangın yönetmeliği az katlı ahşap yapılar için 45 dakika yangına dayanıklılık isterken 8 kat ve üstü için 120 dakika yangın performansı istemektedir. Sprinkler sistem kullanılan binalar için 42 m yükseklik ve 12 kat sınırı bulunmakta, sprinkler kullanılmayan binalarda ise kat adedi 3 ile sınırlandırılmaktadır. Kaçış yollarındaki görünür ahşap malzeme, döşemede 3 kat ile sınırlandırılmakta, ahşabın tavan ve duvarlarda kullanımına izin verilmemektedir. Cephede ve daire içerisindeki duvar ve tavanda sprinkler sistemi kullanılması halinde görünür ahşap malzeme kullanımına 6 kata kadar izin veriliyorken, sprinkler sistem kullanılmayan binalar için 3 kat sınırlaması bulunmaktadır (Karacabeyli & Lum, 2022).

2.9. Analiz Çalışması

Yapılan bu çalışmada kapsamlı literatür araştırmaları sonucu belirlenen 14 adet çok katlı ahşap yapı; strüktür, yapı elemanı ve yapı malzemesi özelinde yangın önlemleri bağlamında değerlendirilmiş ve tablolar yardımı ile analiz edilmiştir.

2.9.1. Örneklerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında 2015-2022 yılları arasında inşa edilmiş çok katlı ahşap yapılar arasından farklı ülkelerden, farklı yükseklikte ve strüktürde, farklı yangın önlemlerine sahip 14 adet yapı belirlenerek analiz edilmiştir.

2.9.2. Analiz Tablolarının Oluşturulması

Analiz tablolarının oluşturulmasında literatür çalışmalarından elde edilen bilgilerden yararlanılmıştır. Analiz tabloları iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm yapıya ait bilgilerden oluşmaktadır:

- Tasarım ekibi, yapıyı tasarlayan mimar ve/veya tasarım ofisidir.
- Yapım yeri, yapının bulunduğu şehir ve ülkedir.
- Yapım yılı, yapının inşaatının tamamlandığı yıldır.
- Yapı alanı, yapı toplam alanının m² cinsinden sayısal değeridir.
- Yapı işlevi, yapının kullanım amacıdır.
- Yapım süresi, yapının tamamlanması için geçen süredir.

- Kat sayısı, zemin kattan itibaren her bir katın sayısının toplamıdır. Bodrum kat genellikle betonarme inşa edildiği için kat sayısına dahil edilmemiştir.

- Yapı yüksekliği, yapının zemin kattan itibaren çatının en üst kotuna kadar olan mesafesidir.

- Yangın danışmanı, yapının yangın danışmanlığını yapan firma bilgisidir.

- Strüktür tipi, ahşap ve hibrit olmak üzere iki türde ele alınmıştır.

- Strüktür malzemesi; ahşap, beton-betonarme, çelik ve diğer yapı malzemeleri olmak üzere dört alt başlıktan oluşmaktadır. Tik işareti (✓) ile uygun olan başlık işaretlenmiştir.

- Yapı elemanı malzemesi; kolon, kiriş, duvar, döşeme ve merdiven evinin malzeme cinsidir.

- Örnek numarası ve yapı adı ile birlikte yapıya ait çizim ve görseller yer almaktadır.

İkinci bölüm yangın dayanımına ait bilgileri içermektedir.

- Pasif önlemler; hibrit strüktür, yangın geciktirici kaplama ve kapsülleme olarak üç başlıkta ele alınmıştır.

- Aktif önlemler; sprinkler sisteminin yapıdaki varlığıdır.

- Diğer önlemler; pasif ve aktif önlemler başlığı altında değerlendirilmeyen yapıya özel olarak alınan yangın önlemlerini içerir.

2.9.3. Yapı Analiz Tabloları

Çalışma kapsamında belirlenen örnekler yapı yüksekliğine göre sıralanmış olup yapı numarası, yapı adı, yapım yeri, yapım yılı, kat sayısı, yapı yüksekliği, yangın danışmanı, strüktür malzemesi, yapı elemanlarının malzemesi, pasif ve aktif yangın önlemlerini içeren özet bilgiler Tablo 4'te derlenmiştir. 14 yapıya ait kapsamlı analiz, Tablo 5 ile Tablo 18 arasında yer almaktadır.

Yapı analiz tablolarının oluşturulmasında amaç; örnek yapıların bilgilerini ve fotoğraflarını anlaşılır bir biçimde analiz etmektir. Örnekler çok katlı ahşap yapıların strüktürel ve malzeme kapsamındaki yangın dayanımı açısından incelenmiş olup tasarım ve planlamaya ait yangın önlemleri kapsam dışı bırakılmıştır.

Tablo 5. Carbon 12 yapısı (URL-23,42,43,44 ve 45, 2022)



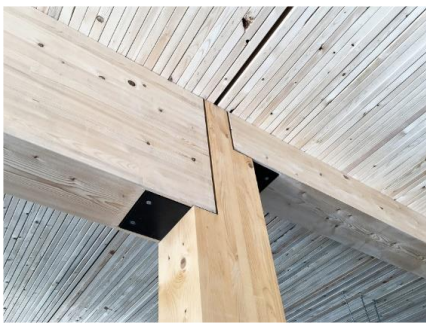
1	Carbon 12		
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Kaiser, Path Architecture		
Yapım Yeri	Portland / ABD		
Yapım Yılı	2018		
Yapı Alanı	3,902 m ²		
Yapı İşlevi	Karma kullanım (konut + ticari)		
Yapım Süresi	14 ay		
Kat sayısı / Yüksekliği	8 kat / 25.9 m		
Yangın Danışm.	Arup		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	-	✓
Yapı Elemanı	Kolon	GLT ve çelik	
	Kiriş	GLT ve çelik	
	Duvar	CLT hazır panel	
	Döşeme	CLT	
	Merdiven	Çelik	

Tablo 5'in devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	✓	Masif elemanların kesit kalınlığı artırılmıştır.
	Hibrit Strüktür	✓	Çekirdek, çelik strüktür ile inşa edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	✓	Dış duvarlara sürülebilir yangın geciktirici ürün uygulanmıştır.
	Kapsülleme	✓	Çelik çekirdek alçı panel ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	



Tablo 6. T3 Minneapolis yapısı (URL-46,47,48,49 ve 50, 2022)


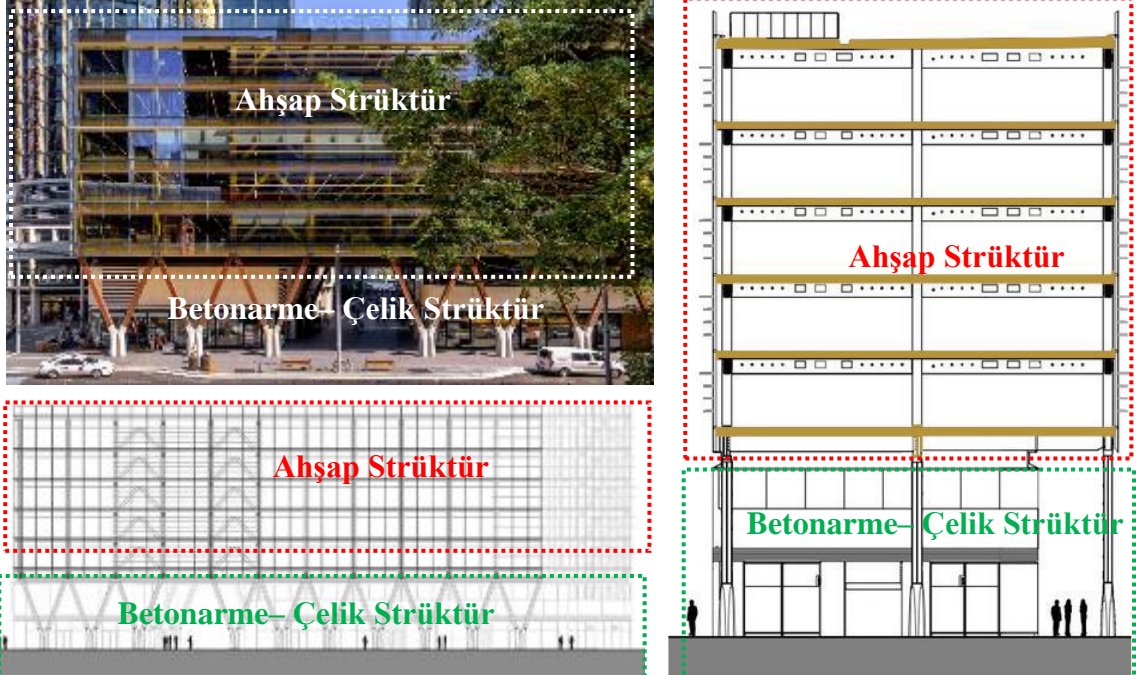
2		T3 Minneapolis	
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	DLR Group, Michael Green Architecture		
Yapım Yeri	Washington Ave, Minneapolis, Amerika		
Yapım Yılı	2016		
Yapı Alanı	22.000 m ²		
Yapı İşlevi	Ofis		
Yapım Süresi	2.5 ay		
Kat sayısı / Yüksekliği	7 kat / 26 m		
Yangın Danışm.	(Bilgiye erişilemedi)		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	Glulam	
	Kiriş	Glulam	
	Duvar	-	
	Döşeme	NLT	
	Merdiven	Betonarme	
  			

Tablo 6'nın devamı



YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	✓	Masif elemanların kesit kalınlığı artırılmıştır.
	Hibrit Strüktür	✓	Merdiven evi betonarme inşa edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	



Tablo 7. International House Sydney yapısı(URL-51,52,53,54,55,56 ve 57, 2022)

3		International House Sydney	
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Tzennes, Jonathan Evans		
Yapım Yeri	Sydney, Avustralya		
Yapım Yılı	2016		
Yapı Alanı	7,920 m ²		
Yapı İşlevi	Ofis		
Yapım Süresi	12 ay		
Kat sayısı / Yüksekliği	7 kat / 30 m		
Yangın Danışm.	Defire		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton-Betonarme	Çelik
	✓	✓	✓
Yapı Elemanı	Kolon	GLT - Çelik - Betonarme	
	Kiriş	LVL - GLT - Betonarme	
	Duvar	CLT	
	Döşeme	CLT - Betonarme	
	Merdiven	CLT	
			

Tablo 7'nin devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	-	-
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
			
Diğer Önlemler	<ul style="list-style-type: none"> • Duman algılama ve alarm sistemi doğrudan itfaiye merkezine bağlıdır. • Yangın merdiveni yangına dayanıklı cam ile çerçevelenmiştir. • Sprinkler ve yangın mühendisliğinin kullanılmasıyla, yapının yangın dayanım süresi 120 dakikadan 90 dakikaya düşürülmüştür. 		
			

Tablo 8. Forte Apartments yapısı (URL-58,59,60,61 ve 62, 2022)

4		Forte Apartments	
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Lend Lease		
Yapım Yeri	Avustralya		
Yapım Yılı	2015		
Yapı Alanı	1,755 m ²		
Yapı İşlevi	Konut		
Yapım Süresi	12 ay		
Kat sayısı / Yüksekliği	10 kat / 32m		
Yangın Danışm.	Scientific Fire Services		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	
	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	-	
	Kiriş	-	
	Duvar	CLT	
	Döşeme	CLT – Betonarme (2 kat)	
	Merdiven	CLT	
			

Tablo 8'in devamı


YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	✓	CLT elemanların kesit kalınlığı artırılmıştır.
	Hibrit Strüktür	-	-
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	✓	<ul style="list-style-type: none"> •CLT duvar panelinin bir bölümü alçı panel ile kaplanmıştır. •Döşemedeki CLT panel üzerinde şap yer almaktadır.
Aktif Önlemler	Sprinkler	✓	





Diğer Önlemler	•Cephe yanmaz metal panel ile kaplanmıştır.
----------------	---



Tablo 9. Dalston Works yapısı (URL-63,64,65,66 ve 67, 2022)

5		Dalston Works		
YAPI BİLGİLERİ				
Mimarı	Waugh Thistleton			
Yapım Yeri	Londra/ İngiltere			
Yapım Yılı	2017			
Yapı Alanı	155.000 m ²			
Yapı İşlevi	Konut			
Yapım Süresi	18 ay			
Kat sayısı / Yüksekliği	10 kat / 33,8 m			
Yapı Danışm.	H+H Fire			
Strüktür Tipi	Hibrit			
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Betonarme	Çelik	
	✓	✓	-	
Yapı Elemanı	Kolon	-		
	Kiriş	-		
	Duvar	CLT		
	Döşeme	CLT		
	Merdiven	CLT		
 				

Tablo 9'un devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	-	-
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	✓	•CLT duvar panellerinin büyük bir kısmı alçı paneller ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	?	
			
Diğer Önlemler	•Cephenin tamamı tuğla ile kaplanmıştır.		
			

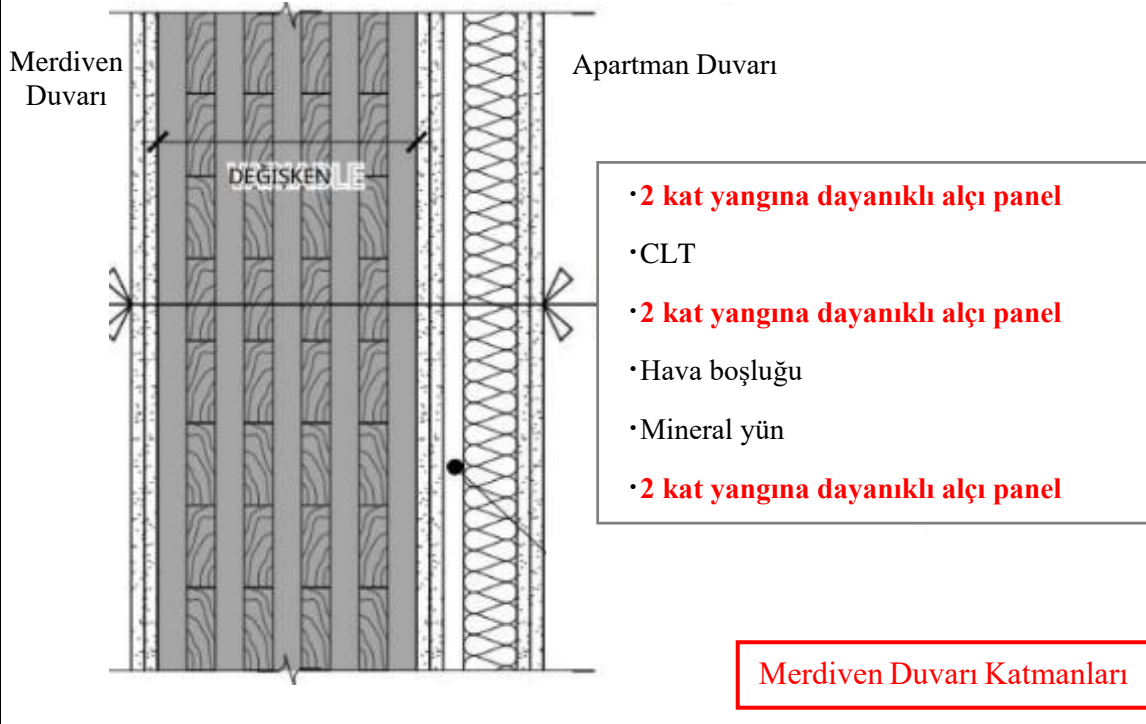
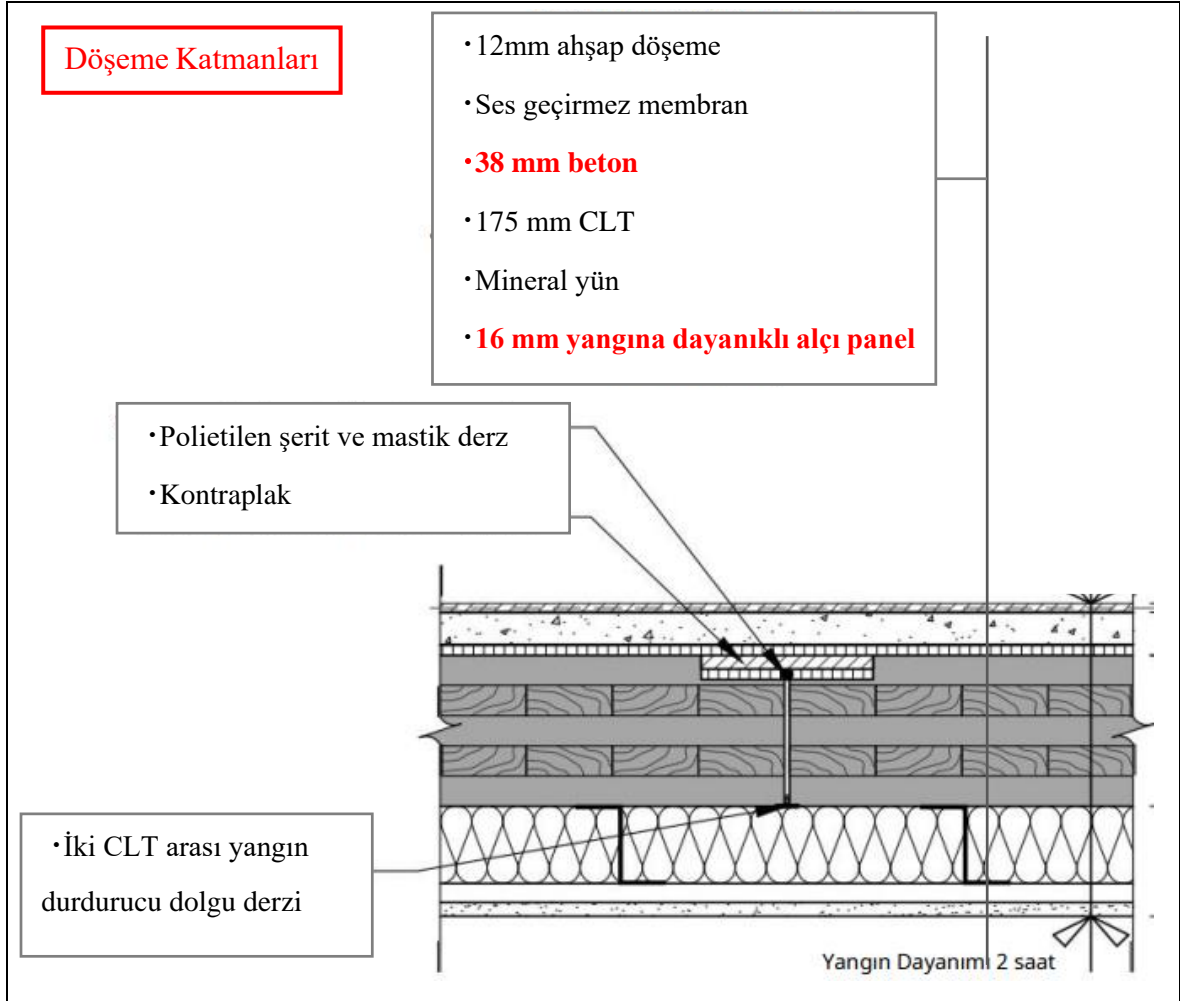
Tablo 10. Origine yapısı (URL-68,69,70,71,72 ve 73, 2022)

6		Origine		
YAPI BİLGİLERİ				
Mimarı	Yvan Blouin Architect			
Yapım Yeri	Quebec City/Kanada			
Yapım Yılı	2017			
Yapı Alanı	890 m ²			
Yapı İşlevi	Konut			
Yapım Süresi	4 ay			
Kat sayısı / Yüksekliği	13 kat – 40.9 m			
Yangın Danışm.	-			
Strüktür Tipi	Hibrit			
Strüktür	Ahşap	Betonarme	Çelik	
Malzemesi	✓	✓	-	
Yapı Elemanı	Kolon	GLT		
	Kiriş	GLT		
	Duvar	CLT ve Betonarme		
	Döşeme	CLT ve Betonarme		
	Merdiven	CLT		
				

Tablo 10'nun devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	-	-
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	✓	CLT cephede taş yünü ile iç mekanda alçı panel ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
			
<p>Yanıcı yükü azaltmak için metal bölme duvar karkası</p>		<p>Yangın Durdurucu Macun</p>	
DİĞER ÖNLEMLER	<ul style="list-style-type: none"> • Bağlantılar ve montajlar dahil olmak üzere tüm sistem, en az 2 saat yangına dayanıklılık sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. • Taşıyıcı duvar olmayan bölmelerde bina içindeki yangın yükünü azaltmak için hafif metal karkas kullanılmıştır. • Yangının bina dışına yayılmasını sınırlamak için balkonlar betondan yapılmıştır. • Dış cephe kaplaması yangına dayanıklı malzemeden üretilmiştir. 		
			
<p>Alçı Panel</p>		<p>Taş Yünü</p>	

Tablo 10'nun devamı





Tablo 11. Hoas Tuuliniitty yapısı (URL- 74,75,76,77 ve 78, 2022)



7		Hoas Tuuliniitty	
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Tuomas Saarinen & Jukka Turtiainen		
Yapım Yeri	Finlandiya		
Yapım Yılı	2021		
Yapı Alanı	7584 m ²		
Yapı İşlevi	Konut		
Yapım Süresi	2 yıl		
Kat sayısı / Yüksekliği	13 kat – 44 m		
Yangın Danışm.	KK-Palokonsultti		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
Malzemesi	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	-	
	Kiriş	LVL	
	Duvar	CLT panel	
	Döşeme	Ahşap-beton kompozit	



Tablo 11'in devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	✓	Döşemede LVL üzerine şap dökülmüştür.
	Yangın Geciktirici Kaplama	✓	Tüm CLT yüzeylere montajdan önce şeffaf yangın koruyucu uygulanmıştır.
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
			
Diğer Önlemler	Zemin kat cephesi yanmaz malzeme kullanılarak inşa edilmiştir.		
			

Tablo 12. Lighthouse Joensuu yapısı (URL-79,80,81 ve 82, 2023)


8		Lighthouse Joensuu		
YAPI BİLGİLERİ				
Mimarı	Arcadia Oy			
Yapım Yeri	Finlandiya			
Yapım Yılı	2019			
Yapı Alanı	5934 m ²			
Yapı İşlevi	Konut			
Yapım Süresi	20 ay			
Kat sayısı / Yüksekliği	14 kat – 48 m			
Yangın Danışm.	Markku Kauriala Oy			
Strüktür Tipi	Hibrit			
Strüktür	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik	
Malzemesi	✓	✓	-	
Yapı Elemanı	Kolon	-		
	Kiriş	-		
	Duvar	CLT		
	Döşeme	CLT - Betonarme (Zemin kat)		
	Merdiven	CLT – LVL		
				

Tablo 12'nin devamı



YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	-	-
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	✓	İç mekandaki tüm ahşap yüzeyler yangına dayanıklı alçı panel ile, cephedeki LVL paneller ise fiber-çimento levha ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	





Tablo 13. Treet yapısı (URL-83,84 ve 85, 2022)

9		Treet	
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Artec As		
Yapım Yeri	Bergen, Norveç		
Yapım Yılı	2015		
Yapı Alanı	5,830 m ²		
Yapı İşlevi	Konut		
Yapım Süresi	1 yıl		
Kat sayısı / Yüksekliği	14 kat – 49 m		
Yangın Danışm.	Skansen Consult AS.		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	GLT	
	Kiriş	GLT	
	Duvar	CLT	
	Döşeme	CLT ve Betonarme	
	Merdiven	CLT	
			

Tablo 13'ün devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	✓	CLT'ler 90 dakika yangına dayanacak şekilde boyutlandırılmıştır.
	Hibrit Strüktür	✓	4 katta bir betonarme döşeme kullanılmıştır.
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
			
Diğer Önlemler	<ul style="list-style-type: none"> • Kolonlar ve kirişler arasındaki boşluklar yanmaz derz dolguları ile doldurulmuştur. 		
			

Tablo 14. Brock Commons yapısı (URL-86,87,88,89 ve 90, 2023)

10	Brock Commons		
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Acton Ostry Architect		
Yapım Yeri	Vancouver, Kanada		
Yapım Yılı	2017		
Yapı Alanı	14,593 m ²		
Yapı İşlevi	Karma kullanım (Yurt, eğitim)		
Yapım Süresi	6 ay		
Kat sayısı / Yüksekliği	18 Kat – 54 m		
Yangın Danışm.	Gage-Babcock & Associates Ltd.		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	✓
Yapı Elemanı	Kolon	GLT, PSL	
	Kiriş	Çelik	
	Duvar	-	
	Döşeme	CLT – Betonarme	
	Merdiven	Betonarme	
			

Tablo 14'ün devamı

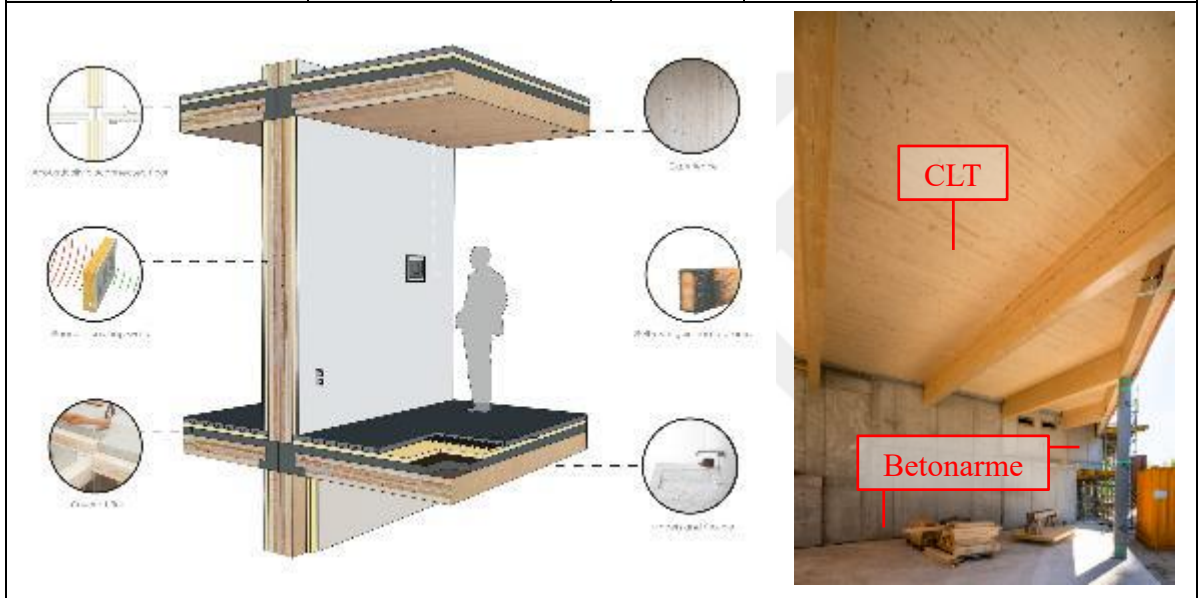
YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	✓	Bina çekirdeği, zemin kat ve 2. katın döşemesi betonarme inşa edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	✓	Görünür ahşap yüzeylere sürülebilir yangın geciktirici ürün uygulanmıştır.
	Kapsülleme	✓	Ahşap yüzeyler 3 kat yangına dayanıklı alçı panel ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
Diğer Önlemler		<ul style="list-style-type: none"> • Belediye su sistemine bağlı su deposu bulunmaktadır. • Alarm sistemi itfaiyeye doğrudan bağlıdır. 	
			
			

Tablo 15. Haut yapısı (URL-91,92,93, ve 94, 2023)


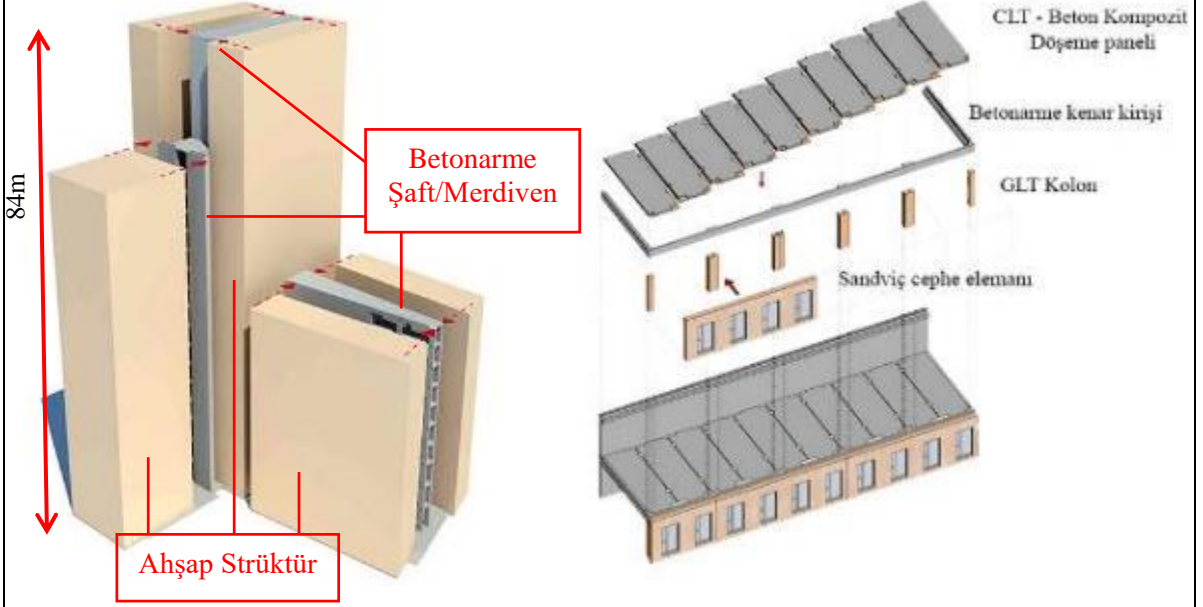
11	Haut		
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Team V Architecture		
Yapım Yeri	Amsterdam / Hollanda		
Yapım Yılı	2022		
Yapı Alanı	14500 m ²		
Yapı İşlevi	Konut		
Yapım Süresi	3 yıl		
Kat sayısı / Yüksekliği	21 kat – 73 m		
Yangın Danışm.	Arup		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	✓
Yapı Elemanı	Kolon	-	
	Kiriş	Çelik	
	Duvar	CLT Panel	
	Döşeme	TCC	
	Merdiven	Betonarme	

Tablo 15'in devamı

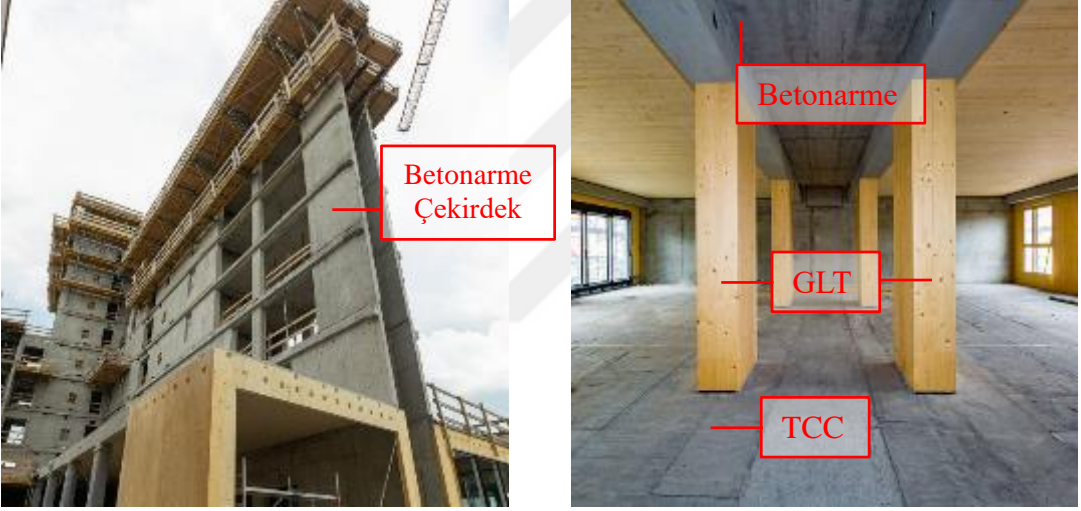
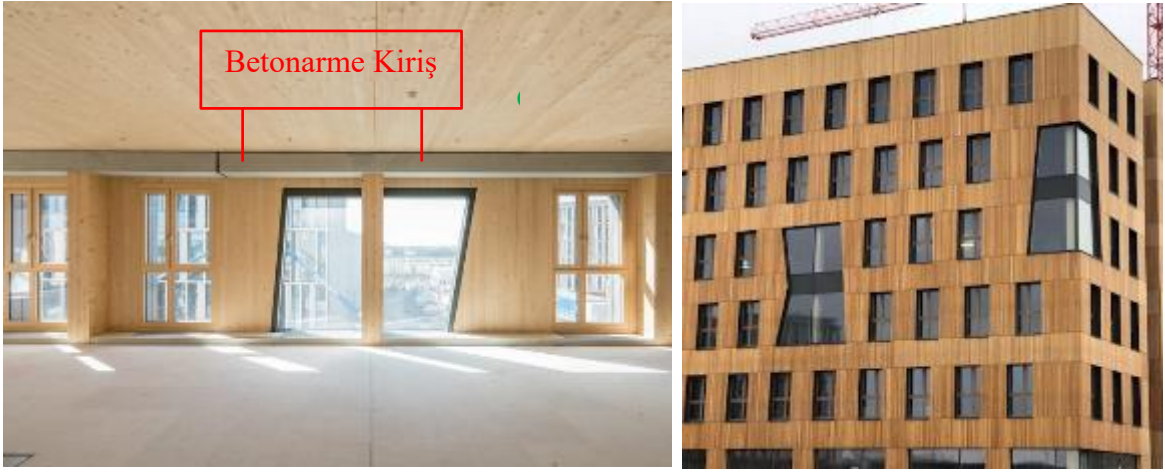
YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	✓	Bina çekirdeği betonarme inşa edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	




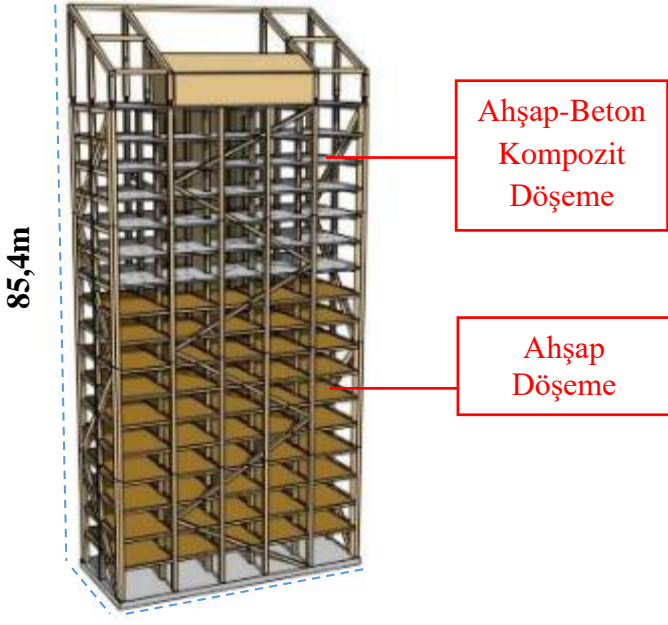

Tablo 16. Hoho Wien yapısı (URL- 95,96,97 ve 98, 2021)

12	Hoho Wien		
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	RLP Rüdiger Lainer + Partner		
Yapım Yeri	Avustralya		
Yapım Yılı	2019		
Yapı Alanı	25.000 m ²		
Yapı İşlevi	Karma kullanım (konut, ticari)		
Yapım Süresi	2.5 yıl		
Kat sayısı / Yüksekliği	24 kat – 84 m		
Yangın Danışm.	Alexander Kunz		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	GLT	
	Kiriş	Betonarme	
	Duvar	CLT Panel	
	Döşeme	CLT - Betonarme	
	Merdiven	Betonarme	
			

Tablo 16'nın devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Dikey kaçış yolları betonarme olarak inşa edilmiştir. • Ahşap-beton kompozit döşeme panelleri tercih edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	-	-
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
			
Diğer Önlemler	• Ahşap strüktür alanında dikey shaft yoktur.		
			

Tablo 17. Mjostarnet yapısı (URL-99,100,101,102 ve 103, 2022)

13		Mjostarnet		
YAPI BİLGİLERİ				
Mimarı	Voll Arkitekter			
Yapım Yeri	Norveç			
Yapım Yılı	2019			
Yapı Alanı	11300 m ²			
Yapı İşlevi	Otel + Ofis + Konut			
Yapım Süresi	1.5 yıl			
Kat sayısı / Yüksekliği	18 kat – 85,4 m			
Yangın Danışm.	Sweco Norge AS			
Strüktür Tipi	Hibrit			
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton-Betonarme	Çelik	
	✓	✓	-	
Yapı Elemanı	Kolon	GLT		
	Kiriş	GLT		
	Duvar	Hazır panel		
	Döşeme	Ahşap-beton kompozit		
	Merdiven	CLT		
 				

Tablo 17'nin devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	✓	GLT elemanların kesit kalınlığı artırılmıştır.
	Hibrit Strüktür	✓	Son 7 katın döşemesinde betonarme kullanılmıştır.
	Yangın Geciktirici Kaplama	✓	Cephe, yangın geciktirici malzeme ile işlem görmüştür.
	Kapsülleme	✓	Merdiven evlerinde alçı panel kullanılmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	




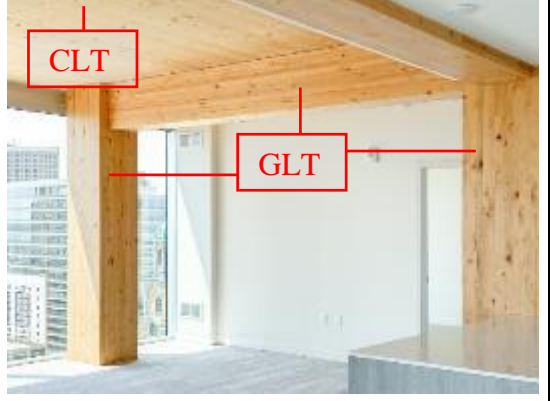



Diger Önlemler	<ul style="list-style-type: none"> • Her bir kat, yangın hücresi olarak tasarlanmıştır. • Cephede yangın durdurucu bariyer bulunmaktadır. • Çelik bağlantı elemanları yangın şeritleriyle korunmuştur. • Kirişler, kolonlar ve plakalar arasındaki boşluklara şişen bir yangın şeridi yerleştirilmiştir. Sıcaklık 150 dereceye ulaştığında bu malzeme yaklaşık 20 kat genişerek yangının ilerlemesini geciktirir.
----------------	---



Tablo 18. Ascent yapısı (URL_104,105 ve 106, 2023)

14	Ascent		
YAPI BİLGİLERİ			
Tasarım	Korb + Associates Architects		
Yapım Yeri	Milwaukee, ABD		
Yapım Yılı	2022		
Yapı Alanı	493.000 m ²		
Yapı İşlevi	Konut		
Yapım Süresi	1.5 yıl		
Kat sayısı / Yüksekliği	25 kat / 86.6 m		
Yangın Danışm.	Arup		
Strüktür Tipi	Hibrit		
Strüktür Malzemesi	Ahşap	Beton/Betonarme	Çelik
	✓	✓	-
Yapı Elemanı	Kolon	Glulam	
	Kiriş	Glulam	
	Duvar	-	
	Döşeme	CLT	
	Merdiven	Betonarme	
			
			

Tablo 18'in devamı

YANGIN DAYANIMI			
Pasif Önlemler	Kömürleşme	-	-
	Hibrit Strüktür	✓	Çekirdek betonarme inşa edilmiştir.
	Yangın Geciktirici Kaplama	-	-
	Kapsülleme	✓	Ahşap elemanların %50'si yangına dayanıklı alçı panel ile kaplanmıştır.
Aktif Önlemler	Sprinkler Sistemi	✓	
 <p>Ahşap yataklı bağlantı elemanı</p>		 <p>CLT</p> <p>GLT</p>	
Diğer Önlemler	<ul style="list-style-type: none"> • Yangın testleri; döşeme ve tavanların 2 saat, diğer masif ahşap elemanların 3 saatlik yangın dayanımına sahip olduğunu kanıtlamıştır. 		
 <p>USDA tarafından yapılan 3 saatlik yangın testi sonucu CLT'nin kömürleşme tabakası</p>		 <p>Betonarme Çekirdek</p> <p>Ahşap Strüktür</p> <p>Betonarme Strüktür</p>	
			

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada 2022 yılı ile itibariyle yapımı tamamlanmış, endüstriyel ahşap malzeme ile inşa edilen çok katlı ahşap yapılar arasından farklı ülkelerden farklı yükseklikte ve strüktürde inşa edilen 14 adet yapı seçilmiştir. Analiz edilen yapılar ile ilgili elde edilen bulgular ve tartışmalar 3 başlıktan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Yapı ile ilgili bulgular ve tartışmalar,
2. Strüktür ile ilgili bulgular ve tartışmalar,
3. Yangın önlemleri ile ilgili bulgular ve tartışmalar,

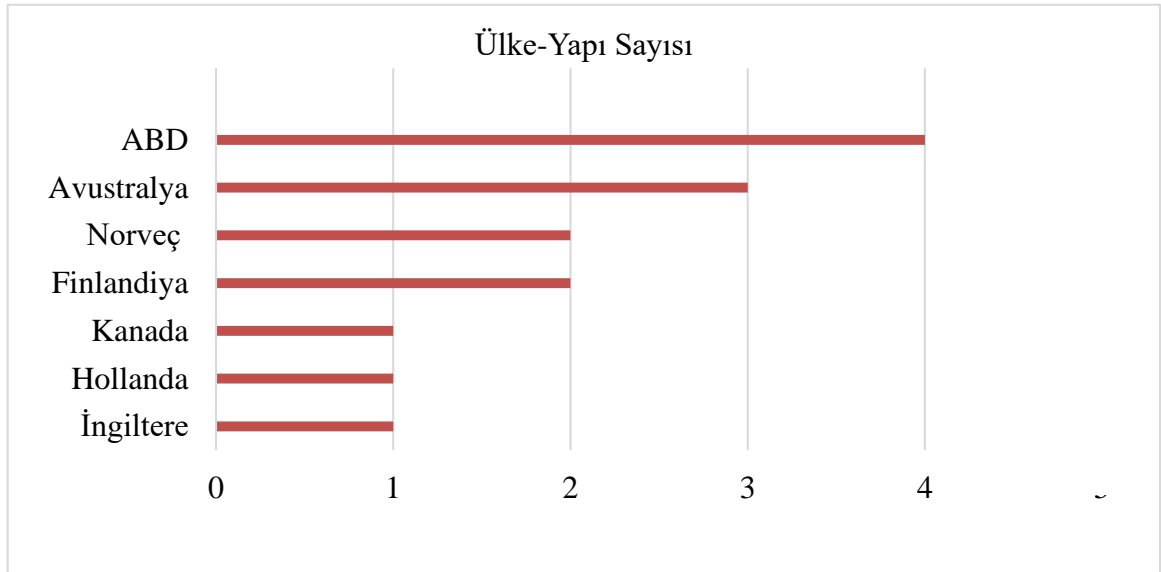
dır.

3.1. Yapı ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Yapım yeri, yapım yılı, kat sayısı / yüksekliği ve yangın danışmanı ile çalışılmasına bağlı olarak 3 başlıkta ele alınmıştır.

- Yapım yeri

Analiz edilen yapı örnekleri; Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, İngiltere, Hollanda, Finlandiya, Norveç ve Kanada olmak üzere 7 farklı ülkede yer almaktadır (Şekil 26).

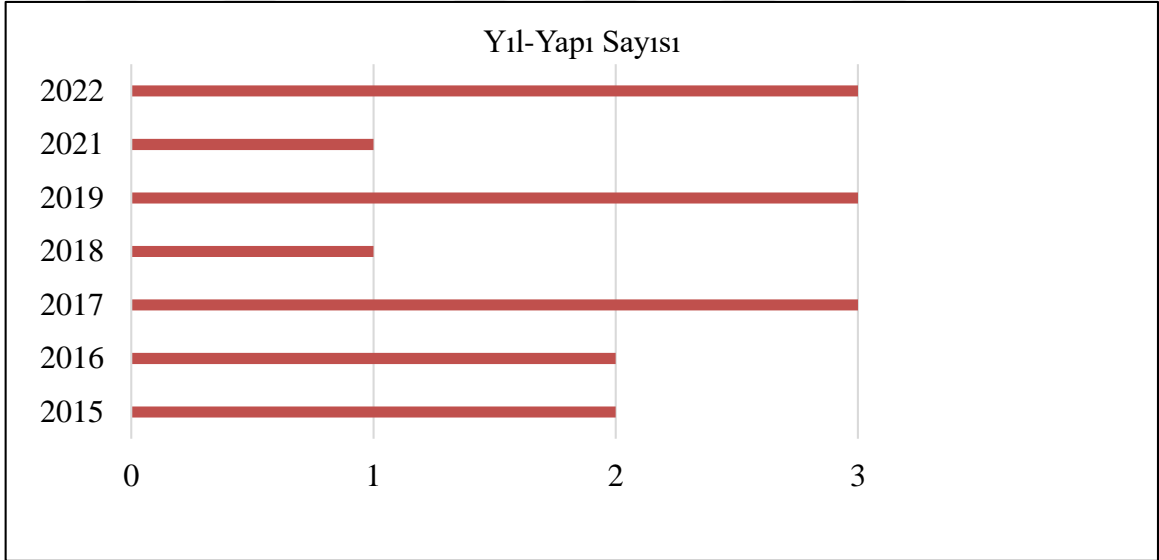


Şekil 26. Örnek yapıların ülkelere göre dağılım grafiği

ABD’de 4, Avustralya’da 3, Finlandiya’da ve Norveç’te 2, Kanada, Hollanda ve İngiltere’de 1’er yapı incelenmiştir. Bu ülkelerde endüstrileşme düzeyinin yüksek olması, endüstriyel ahşap malzeme üretiminin bulunması ve ülke yönetmeliklerinin esnekliği, çok katlı ahşap yapıların yoğun olarak görülmesinin nedenlerindedir.

- Yapım yılı

Tez çalışmanın amacı çok katlı ahşap yapıların yangın dayanımlarının incelenmesi olduğu için örnekler; farklı ülkelere, farklı yükseklikte ve strüktürde, farklı yangın önlemlerine sahip olacak şekilde seçilmiştir. Tez kapsamında analiz edilen örnekler 2015 ile 2022 yılları arasında inşa edilmiştir. Şekil 26’da örnek olarak seçilen yapıların inşa edildiği yıllar gösterilmektedir.



Şekil 26. Örnek yapıların yıllara göre dağılım grafiği

- Kat sayısı / yüksekliği

Tez kapsamında analiz edilen yapıların tümü 7-25 kat aralığındadır. Ülkelerin yönetmeliklerinde çok katlı yapı sınıflandırması itfaiye araçlarının müdahale seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Uluslararası ortak bir kabul olmadığı için tez kapsamında en düşük kat yüksekliği olarak 7 kat ve 18 m üstü yapıları kabul eden ABD yönetmeliği esas alınmış ve yapı seçimi buna göre yapılmıştır.

Tablo 19. Örnek yapıların kat sayısı/yüksekliği ve yangın danışmanı bilgileri

No	Yapı adı	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği	Yangın Danışmanı
1	Carbon 12	8	25,9	Arup
2	T3 Minneapolis	7	26	Bilgiye erişilemedi.
3	Int. House Sydney	7	30	Defire
4	Forté Apartments	10	32	Scientific Fire Services
5	Dalston Works	10	33,8	H+H Fire
6	Origine	13	40,9	Bilgiye erişilemedi.
7	Hoas Tuuliniity	13	44	KK-Palokonsultti
8	LightHouse Joe.	14	48	Markku Kauriala Oy
9	Treet	14	49	Skansen Consult AS.
10	Brock Commons	18	54	Gage-Babcock&Associates Ltd.
11	Haut	21	73	Arup
12	Hoho Wien	24	84	Alexander Kunz
13	Mjostarnet	18	85,4	Sweco Norge AS.
14	Ascent	25	86.6	Arup

Tablo 19’da görüldüğü gibi aynı kat sayısında olan yapıların yapı yükseklikleri farklılık göstermektedir. Bunun sebebi ülkelerin mevzuatlarında yer alan yapı yükseklik tanımlamalarındaki farklılıktır. Bazı ülkelerde çatının en üst noktası, bazılarında ise çatı döşemesi yükseklik sınırı olarak kabul edilmektedir. Hoho Wien ve Mjostarnet yapısının kat sayısı ve bina yüksekliği farkı bundan kaynaklanmaktadır. Mjostarnet yapısı daha az katlı olmasına rağmen ülkesindeki mevzuata göre yapı yüksekliği çatının en üst noktası kabul edildiği için literatürde daha yüksek olarak kabul edilmiştir. Çok katlı ahşap yapıların ortak özelliklerinden biri tasarımlarında yangın danışmanı ile çalışılıyor olmasıdır. İncelenen 2 yapı dışında diğer tüm yapılarda yangın danışmanı ile çalışılmış fakat 2 yapı için yeterli bilgiye erişilememiştir. Analiz edilen yapılar ve incelenen yönetmelikler doğrultusunda kat yüksekliği arttıkça alınan yangın önlemlerinin de arttığı gözlenmiştir.

3.2. Strüktür Sistemi ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Örnek olarak seçilen 14 adet ahşap çok katlı yapının strüktür sisteminde kullanılan yapı malzemeleri incelenmiştir. Yapı elemanı olarak kolon, kiriş, duvar, döşeme ve merdivenlerde kullanılan malzemeler Tablo 20’de gösterilmektedir.

Tablo 20. Strüktür malzemesinin türüne göre ve kullanıldığı yapı elemanına göre örnek yapılar

No	Yapı adı	Strüktür Malzemesi			Yapı Elemanı				
		Ahşap	Çelik	Betonarme	■ Ahşap	■ Çelik	■ Betonarme		
					Kolon	Kiriş	Duvar	Döşeme	Merdiven
1	Carbon 12	■	■		■	■	■	■	■
2	T3 Minneapolis	■		■	■		■		■
3	Int. House Sydney	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Forté Apartments	■		■	■		■	■	■
5	Dalston Works	■		■	■		■	■	■
6	Origine	■		■	■		■	■	■
7	Hoas Tuuliniity	■		■	■		■	■	■
8	LightHouse Joen.	■		■	■		■	■	■
9	Treet	■		■	■		■	■	■
10	Brock Commons	■	■	■	■	■	■	■	■
11	Haut	■	■	■	■	■	■	■	■
12	Hoho Wien	■		■	■	■	■	■	■
13	Mjostarnet	■		■	■		■	■	■
14	Ascent	■		■	■		■	■	■

İncelenen 14 yapının 3'ünde çelik-ahşap strüktür kullanımına rastlanırken 1 yapı hariç tüm örneklerde betonarme kullanımı görülmüştür. Günümüzde birçok yapının temeli ile bodrum kat döşeme ve duvarları belirli nedenlerden ötürü betonarme inşa edilmektedir. Analizi yapılan yapılar içerisinde hibrit strüktür olarak inşa edilen örneklerde en sık kullanılan malzemenin betonarme olduğu görülmüştür. Bodrum ve temel dışında betonarme malzemenin incelenen örneklerde zemin katta kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Yapı elemanı olarak kullanılan çelik malzeme genellikle yapının taşıyıcılığını desteklemek için tercih edilmiştir. Beton malzeme ise taşıyıcılığa katkı sağlamanın yanında yangın dayanımı sebebiyle de tercih edilmektedir. Analiz edilen 14 yapının 9'unda döşemede kullanılan beton malzeme hem yapının stabilitesine katkı sağlamakta hem de katlar arası yangın yayılımını engellemektedir. Ülke mevzuatlarında en kritik nokta olan kaçış

yollarında 5 yapıda olduğu gibi beton malzeme tercih edilerek yangından dayanımı istenilen seviyede sağlanmıştır. Beton malzemenin kolonda kullanımı yalnızca International House Sydney yapısında görülürken kiriş olarak International House Sydney, Haut ve Hoho Wien’de tercih edilmiştir.

Analiz edilen yapılarda en sık kullanılan endüstriyel ahşap malzemeler CLT ve GLT olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 2 yapıda LVL, 1 yapıda NLT kullanımına rastlanmıştır. CLT 11 yapıda döşemede, 8 yapıda duvarda ve 7 yapıda merdiven evinde kullanılmıştır. GLT’nin 10 yapıda kolon, 7 yapıda kiriş elemanı olarak kullanımına rastlanmıştır. LVL ise 2 yapıda kirişi, 1 yapıda merdiven evini oluşturmuştur.

3.3. Yangın Önlemleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Analiz edilen yapı örneklerinde alınan yangın önlemler; pasif, aktif ve bu önlemlerin dışında kalan diğer önlemler olmak üzere üç başlıkta tartışılmıştır. Pasif önlemler kömürleşme, hibrit strüktür, yangın geciktirici kaplama ve kapsülleme olarak dört başlıkta değerlendirilmiş, aktif önlemlerde ise sprinkler sistemleri incelenmiştir (Tablo 21).

Tablo 21. Örnek yapılarda alınan yangın dayanımına yönelik alınan önlemler

No	Yapı adı	Yangın Dayanımı				
		Pasif Önlemler				Aktif Ö.
		Kömürleş.	Hibrit Strüktür	Yangın Gecikt.	Kapsülle.	Sprinkler
1	Carbon 12					
2	T3 Minneapolis					
3	Int. House Sydney					
4	Forté Apartments					
5	Dalston Works					
6	Origine					
7	Hoas Tuuliniity					
8	LightHouse Joens.					
9	Treet					
10	Brock Commons					
11	Haut					
12	Hoho Wien					
13	Mjostarnet					
14	Ascent					

- Kömürleşme Tabakası

Ahşap malzemede kesit kalınlığı ve buna bağlı olarak kömürleşme tabakasının artırılması ile istenilen yangın dayanım süresinin bir kısmının karşılanabildiği görülmüştür. İncelenen yapılar içerisinde Carbon 12, T3 Minneapolis, Forte, Treet ve Mjostarnet yapısında kullanılan ahşap malzemelerin kesit kalınlığı artırılarak yapının yangına dayanım performansı iyileştirilmiştir.

- Hibrit Strüktür Tasarımı

Ülke mevzuatlarına ilk giren yangın önlemlerinden biridir. Yapı inşaatında en çok tercih edilen malzemelerden biri olan beton, yangın dayanımı yüksek olduğu için ahşap yapılarda da sıklıkla tercih edilmektedir ve günümüzde hala temel ve bodrum katlarda en yaygın kullanılan malzeme olması sebebiyle incelenen tüm yapılarda görülmektedir. Tez kapsamında temel ve bodrum katlarda kullanılan beton malzemenin kullanım amacı yangına karşı alınmış önlem olarak değerlendirilmemiş, hibrit strüktür kapsamında beton veya çelik malzemenin zemin kat üstü kullanımı yangın önlemi olarak esas alınmıştır. Bu durumda incelenen örnekler içerisinde 9 adet yapıda hibrit strüktür kullanımı görülmektedir. İncelenen 5 yapı (T3 Minneapolis, Carbon 12, Brock Commons, Haut, Hoho Wien ve Ascent), bina çekirdeğinde hibrit malzeme kullanmıştır. Hibrit strüktür, genellikle kaçış yollarında ve döşemede tercih edilmiştir. Kaçış yolları, yangın anında kritik öneme sahip alanlardır ve bu sebeple ahşap yapılarda betonarme çekirdek kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Bu sık kullanımın en önemli sebebi ülke yönetmeliklerinin kısıtlayıcı kurallarıdır. Örnek olarak Brock Commons yapısında ahşap malzemenin bina çekirdeğinde kullanımı konusunda karmaşık izin süreçlerine girilmemesi için bu kullanımdan vazgeçilmiş, döşemede ve merdiven evlerinde beton malzeme kullanılmıştır. İncelenen yapıların 9 adedinde betonarme döşeme kullanımı görülmektedir. Betonarme döşemenin yangının üst katlara yayılımını önlemesinin yanı sıra çok katlı yapılarda döşemede kullanılmasının sebeplerinden biri de rüzgara karşı bina rijitliğini olumlu yönde desteklemesidir. Betonarmenin kolon ve kirişte kullanımına ise 3 adet yapıda rastlanmıştır.

- Yangın Geciktirici Kaplamalar

Pasif yangın önlemleri içerisinde yer alan ve genellikle likit ürünlerin kullanıldığı yangın geciktirici kaplamalar, en yeni yangın önlemlerinden biridir ve teknoloji ile birlikte gelişmeye devam etmektedir. Sürülebilir bu ürünlerin tercih edilmesindeki en büyük etkenlerden biri uygulandığı yüzeyin görünürlüğünü engellemeyerek ahşabın dokusuna zarar vermemesidir. İncelenen 14 örnek yapı içerisinde 4 yapıda yangın önlemi olarak

kullanılmasının sebebi, tek başına uygulandığında yangın önlemi olarak literatürde bulunmasına rağmen birkaç ülke dışında yönetmeliklere henüz girememiş olmasıdır. Bu sebeple yaygın kullanımında farklı yangın önlemleri ile desteklenmektedir. Yangın geciktirici kaplamaların kullanıldığı 2 yapının iç mekan duvarlarında açıkta kalan ahşap yüzeylerin görünürlüğünü örtmemek için şeffaf yangın geciktirici kaplama malzemesi uygulanmış, diğer 2 yapıda ise cephede kullanılmıştır.

- Kapsülleme

Kapsüllemenin amacı ahşap malzemenin alev ile temasını gerekli yangına dayanıklılık süresi boyunca yangına dayanıklı bir kaplama malzemesi (alçı panel, taş yünü, yangına dayanıklı cam vb.) yardımı ile keserek koruma sağlamasıdır. İncelenen yapılar içerisinde 8 yapıda kullanımına rastlanmıştır. 7 yapıda kapsülleme malzemesi olarak alçı panel kullanılırken Origine yapısında taş yünü tercih edilmiştir.

- Sprinkler

Aktif önlemler olan sprinkler sistemlerinin amacı büyüme aşamasındaki yangının hızlı algılanmasını sağlayarak yangına erken müdahale imkanı vermektir. Başarı oranı çok yüksek olan bu sistemler, yangını kısa sürede algılayarak söndürür. İncelenen 13 yapıda sprinkler sistem kullanımına rastlanmıştır. International House Sydney yapısında ahşap malzemeler üzerine herhangi kapsülleme veya yangın geciktirici kaplama uygulaması yapılmadan sprinkler sistemi tek başına kullanılmıştır. Bu durum sistemin performansının gücünü göstermektedir.

- Diğer Önlemler

Diğer önlemler başlığı altında; pasif ve aktif önlemler dışında kalan, yapı özelinde alınan ve yapının yangın dayanım performansını artıran önlemler incelenmiştir. İncelenen yapılardan International House Sydney yapısında kaçış merdiveninin duvarı yangına dayanıklı cam ile inşa edilmiştir. Brock Commons yapısında duman algılama sisteminin doğrudan itfaiye merkezine, sprinkler sisteminin ise belediyenin su sistemine bağlı olduğu görülmüştür. Mjostarnet yapısı özelinde her kat, yangın hücresi olarak tasarlanmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında 2015-2022 yılları arasında endüstriyel ahşap malzeme ile inşa edilen çok katlı ahşap yapılar içerisinde farklı ülkelerde farklı yükseklikte ve strüktürde 14 adet yapı seçilmiştir. Bu kapsamda incelenen yapılar ile ilgili sonuçlar 3 başlıktan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1.Yapı ile ilgili sonuçlar,
- 2.Strüktür ile ilgili sonuçlar,
- 3.Yangın önlemleri ile ilgili sonuçlar,

dir.

4.1. Yapı ile İlgili Sonuçlar

Ahşap malzeme, özellikle ahşabın endüstriyel olarak kullanımına bağlı olarak strüktürel anlamda pek çok avantaja sahiptir ve çok katlı yapılarda kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmıştır. Tez kapsamında yapılan kapsamlı çalışma sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Endüstriyel ahşap malzeme ile inşa edilen yapılarda uygulamanın başladığı yıllardan günümüze kadar kat sayısının orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.

- Ülke yönetmelikleri, çok katlı ahşap yapıların yapımı konusunda en kısıtlayıcı faktörlerden biridir. Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan talep doğrultusunda yönetmelikler güncellenerek kurallar esnetilmeye başlanmıştır. Yönetmeliklerdeki kurallar esnedikçe uygulamaların da esnediği görülmüştür.

- Avustralya, ABD, Kanada ve bazı İskandinav ülkeleri çok katlı ahşap yapıların daha sık rastlandığı ülkelerdir. Kuzey Amerika'da endüstriyel orman alanları mevcut olduğu için, malzemeye ulaşım ekonomik ve kolaydır. Avustralya'da ise ahşap malzemenin neredeyse büyük bir kısmı ithal edilmesine rağmen ülke yönetmeliğinin performansa dayalı olmasından kaynaklı çok katlı ahşap yapıların varlığından söz edilebilir. İskandinav ülkelerinin yönetmelikleri esnektir ve bu sebeple çok katlı ahşap yapıların yapımına sıkça rastlanmaktadır. Rusya gibi bazı ülkelerde yönetmeliklerindeki kısıtlayıcı tutum nedeniyle çok katlı ahşap yapıların inşa edilmediği görülmektedir.

- Ülke yönetmeliklerinde bina yüksekliğinin tanımı değişiklik göstermektedir. Bazı ülkeler bina yüksekliğini çatı döşemesinin tabanı olarak bazı ülkelerde çatının en yüksek noktası olarak kabul etmektedir.

4.2. Strüktür Sistemi ile İlgili Sonuçlar

- Hibrit strüktür sistemi görülen yapılarda genellikle betonarme kullanımına rastlanmıştır. Betonarmenin en sık kat döşemelerinde görülmesinin nedeni yapı stabilitesini artırmak ve/veya yangının diğer katlara yayılımını engellemek olabilir. Döşemeye ek olarak kaçış yollarında da betonarme kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Kolon ve kiriş olarak kullanımı ise nadirdir.

- Çelik malzeme betonarmeye göre daha seyrek kullanılmıştır. En sık kullanıldığı alanlar ise kolonlar ve kirişlerdir.

- Çok katlı ahşap yapılarda en yoğun kullanılan endüstriyel ahşap malzemeler, CLT ve GLT'dir. Döşeme, duvar ve merdivende CLT, kolon ve kiriş olarak GLT tercih edilmiştir.

4.3. Yangın Önlemleri ile İlgili Sonuçlar

Analiz edilen yapılarda yangına karşı alınan önlemler; pasif, aktif ve diğer önlemler olarak üç başlıkta incelenmiştir.

- Beton yapı malzemesi yangın dayanımı yüksek bir ürün olduğu için örneklerin strüktüründe çok fazla hibrit tasarım kurgusu bulunmaktadır. Bunun bir sebebi de ülke mevzuatlarına giren ilk yangın önlemlerinden biri olmasıdır. Örneklerin çoğunda betonarme döşeme kullanımı görülmüştür. Yangının üst katlara yayılımını önlemenin yanı sıra betonun çok katlı yapılarda rüzgara karşı bina rijitliğini olumlu yönde desteklemesi bu durumun nedenleri arasındadır.

- Bina yüksekliği arttıkça alınan yangın önlemlerinin arttığı görülmüştür. Kaçış yollarındaki betonarme kullanımı yapı yüksekliğiyle doğru orantılı olacak şekilde artmaktadır.

- Pasif yangın önlemleri içerisinde en yeni uygulamalardan biri yangın geciktirici kaplamalardır. Likit yapıdaki bu ürünlerin tercih edilmesindeki en büyük etkenlerden biri uygulandığı yüzeyin görünürlüğünü engellememesidir. Henüz yeni ülke mevzuatlarında pasif yangın önlemi olarak yer almaya başladığı için birkaç örnek yapı dışında uygulamasına çok sık rastlanmamıştır. En sık uygulama alanı, iç mekan duvarları ve cephe yüzeyleridir.

- Performansa dayalı yönetmeliklerin bulunduğu ülkelerde ahşap malzemede kesit kalınlığı artırılarak istenilen yangın dayanım süresinin bir kısmının karşılandığı görülmüştür.
- Kapsülleme yöntemi tek başına pasif önlem olarak yapılarda kullanılmaktadır ancak hibrit strüktür ve yangın geciktirici kaplamaların tek başına pasif önlem olarak kullanımına rastlanmamıştır.
- Aktif yöntemler içerisinde yer alan sprinkler sistemleri çok yüksek başarı oranına sahiptir ancak elektronik bir sistem olduğu için olası bir arıza durumunda yapıda pasif önlem alınmıyorsa tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle sprinkler sistemi her ne kadar yüksek performans sergilese de çok katlı ahşap yapılarda pasif önlemler mutlaka yer almaktadır.

4.4. Öneriler

Geçmiş yıllarda geleneksel ahşap malzeme ile inşa edilen yapılarda çıkan yangınlar sonucunda ahşap malzemeden giderek uzaklaşmıştır. Fakat günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte malzemenin olumsuz özellikleri giderilerek yüksek dayanımlı endüstriyel ahşap malzemeler geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen örnek yapılarda görüldüğü gibi sayıları her geçen gün artan çok katlı ahşap yapıların ülkelerin belirlediği yangın dayanım sürelerini karşıladığı görülmüştür. Tez sonrasında yapılacak çalışmalarda çok katlı ahşap yapıların tasarım süreçlerinde proje özelinde alınan önlemler; kaçış yolları mesafeleri, mekân ve cephede açılan boşluk ölçülerinin yangına katkısının olup olmadığı incelenebilir. Malzeme bazında alınan yangın önlemleri ve etki süreleri araştırılıp, etkinliği kanıtlanmış bilgisayar destekli programlar ile simülasyon deneyleri yapılabilir.

Türkiye'deki çalışmalara bakıldığında endüstriyel ahşap yapı elemanlarına yönelik uygulamaların mevcut olduğu ancak uluslararası örnekler dikkate alındığında belli yönlerden yetersiz olduğu görülmüştür. Türkiye'de endüstriyel ahşap yapılar için yönetmelik mevcut değildir, bu hususta ahşap yapı yönetmeliği oluşturularak ahşap yapıların ülkemizdeki yapımı desteklenmelidir. Bununla birlikte endüstriyel ahşap yapı malzemelerinin üretim tesislerinin sayısı artırılmalı, plantasyon ormanlarının oluşumu teşvik edilmelidir.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve önerilerin gelecek çalışmalara katkı sağlayıp kaynak olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- AFPA. (2001). Konvansiyonel Ahşap Çerçeve Konstrüksiyon Detayları. Washington DC, ABD, Amerikan Orman ve Kağıt Derneği.
- Aydın, H. (2019). Çok Katlı Ahşap Yapılarda Strüktürel Kurgunun Analizi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bal, B., & Bektaş, İ. (2018). Odunun yoğunluğu ile bazı mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1(2), 51-61.
- Barber, D. (2018). Fire Safety Of Mass Timber Buildings With Clt İn Usa.
- Barber, D., Dixon, R., Rackauskaite, E. & Looi, K. (2021). A method for determining time equivalence for compartments with exposed mass timber, using iterative parametric curves, Proceedings of WCTE 2021 World Conference on Timber Engineering, 24–27 Ağustos, Santiago, Şili.
- Barber, D., Dixon, R., Rackauskaite, E. & Looi, K. (2020). A method for determining time equivalence for compartments with exposed mass timber, using iterative parametric fire curves. Doi:10.14264/f53607f.
- Brandon, D., Sjöström, J., Temple A., Hallberg , E. & Kahl F. (2021). Fire Safe implementation of visible mass timber in tall buildings – compartment fire testing, RISE Report.
- Buchanan A. H. (2018). Fire Safety Of Clt Buildings İn New Zealand And Australia.
- Buchanan, A. & Östman, B. (2022). Fire Safe Use of Wood in Buildings: Global Design Guide, Florida, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003190318>.
- Buchanan, A.H., Östman, B. & Frangi, A. (2014). Fire Resistance of Timber Structures, NIST White Paper, Washington DC, USA.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E. & Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünyü, Bugünü ve Yarını, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 6(1), 109-118.
- Çolak, S., Çolakoğlu, G. & As, N. (2004). Ağaç Malzemenin Yanması Ve Yangında Diğer Yapı Elemanlarıyla Karşılaştırılması, Journal Of The Faculty Of Forestry Istanbul University, 52(1), 15-26.
- De Jong, R.L. (2017). Tall Timber Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Hollanda.
- Dönmez Çavdar, A., Vural, N., & Kalkışım, S. (2023). Ahşap Kompozit Malzemelerin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının Yangın Güvenliği Açısından Analizi. İtü Mimarlık ve Yangın Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.

- EN 1995-1-2. (2004). Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-2 General – Structural fire design, European standard, CEN, Brussels.
- Erkoç, E. (2004). Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım - Uygulama - Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi: İstanbul Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gerard, R., Barber, D., ve Wolski, A. (2013). Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings, Fire Protection Research Foundation Quincy, USA.
- Gong, M. (2022, Mayıs 28). Lumber-Based Mass Timber Products in Construction, IntechOpen, <https://www.intechopen.com/online-first/lumber-based-mass-timber-products-inconstruction> adresinden alınmıştır.
- Greater London Authority (2010). Fire risks in London's tall and timber framed buildings, Londra.
- Güller, B. (2001). Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- Güzel, N. & Karaman Ö. Y.(2015). Sürdürülebilir Bir Alternatif Olarak Çok Katlı Ahşap Yapılar, Ege Mimarlık, 91, 30-35.
- Güzel, N. ve Yesügey, S.C. (2015). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar, Mimarlık Dergisi, 382(4), 60-65.
- Hoehler, M., Su, J., Lafrance, P.S. & Bundy, M. (2018). Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings: Large-scale Cross-laminated Timber Compartment Fire Tests. In Proceedings of the SiF 2018-The 10th International Conference on Structures in Fire, Belfast, UK, 6–8 June 2018; New University of Ulster: Belfast, Ireland.
- Hoehler, M. , Su, J. , Lafrance, P. , Bundy, M. , Kimball, A. , Brandon, D. & Ostman, B. (2018), Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings: Large-Scale Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests, SiF18-The 10th International Conference on Structures in Fire, Belfast.
- Holmes, C.A. (1989). Effect Of Fire-Retardant Treatments On Performance Properties Of Wood. FPL, Approved Technical Article, 82-103.
- Hundhausen, U. & Mahnert, K.C. (2015). Fire protection of wooden facades in Norway. 46th IRG Annual meeting, Şili.
- ICC (2021). International Code Council, Washington DC, ABD.
- İlhan, R. (1988). Prefabrik konut yapımında yangına karşı alınması gereken önlemler, Ahşap Malzemenin Korunması MPM yayınları, 338.
- Karacabeyli E. & Lum C. (2014). Technical Guide For The Design And Construction Of Tall Wood Buildings İn Canada, Fpinnovations, Pointe-Claire, Canada.

- Karacabeyli, E. & Lum, C. (2022). Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada, FPInnovations.
- Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S. (2022). Manual of Multistorey Timber Construction: Principles Constructions Examples, Detail, München.: <https://doi.org/10.11129/9783955535827> adresinden alınmıştır.
- Kerber, S. & Madrzykowski, D. (2009). fire fighting tactiscs under Wind Driven Fire Condition: 7-Story Building Experiments, Technical Note (NIST TN), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- Kılıç, M. (2003). Yapılarda Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8(1), Bursa.
- Klippel, M. & Schmid, J. (2017). Design of Cross-Laminated Timber in Fire, Structural Engineering International, 27(2), 224-230.
- Leskovar, V. Z. & Premrov, M. (2021). A Review of Architectural and Structural Design Typologies of Multi-Storey Timber Buildings in Europe. Forests, 12(6), 757: <https://doi.org/10.3390/f12060757> adresinden alınmıştır.
- Lewis, K., Shrestha, R. & Crews, K. I. (2014). Introduction to Cross Laminated Timber and Development of Design Procedures for Australia and New Zealand, 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23), December, Lismore, vol. I, 601-606.
- Li, J., Rismanchi, B. & Ngo, T. (2019). Feasibility study to estimate the environmental benefits of utilising timber to construct high-rise buildings in Australia, Building and Environment, 147, 108-120.: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.052> adresinden alınmıştır.
- Martinez, J., Alonso Martínez, M., Felipe A. R. & Jose D. J. (2018). Finite Element Analysis of Composite Laminated Timber (CLT), Proceedings. 2. 1454.
- Mohammadi, J. & Ling, L. (2017). Can wood become an alternative material for tall building construction?. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 22(4).
- Mohd Yusof, N., Md Tahir, P. & Lee, S.H. (2019). Mechanical and Physical Properties of Cross-Laminated Timber Made From Acacia Mangium Wood as Function of Adhesive Types. J Wood Sci 65, 20. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1799-z>.
- Moinuddin, K.A.M. & Thomas, I.R. (2014). Reliability of sprinkler system in Australian high rise office buildings, Fire Safety Journal, 63, 52-68.
- Moudgil, M. (2017). Feasibility Study of Using Cross-Laminated Timber Core for the Ubc Tall Wood Building, Master Thesis, The Faculty Of Graduate And Postdoctoral Studies (Civil Engineering) at The University Of British Columbia, Vancouver.
- Nussbaum, R. (1988). Effect of low concentration fire retardant impregnations on wood charring rate and char field, Journal of Fire Sciences, 6, 290–307.

- Osborne, L., Dagenais, C. & Bénichou, N. (2012). Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report (Project No. 301006155) – Final Report 2012/13, Ottawa (Ontario) FPInnovations.
- Östman, B., Brandon, D. & Frantzich, H. (2017) . Fire safety engineering in timber buildings, *Fire Safety Journal*, 91, 11-20.
- Öztank,N.(2004). Orta Yükseklikteki (4-8 Kat) Konut Yapılarında Ahşap Teknolojisinin Uygulanabilirliği, Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, İzmir.
- Peker, H. & Atılgan, A. (2015). Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 154 - 165.
- Purpura, P.P. (2013), *Life Safety, Security and Loss Prevention (Sixth Edition)*, , Butterworth-Heinemann, İngiltere, 6, 363-400.
- Ranger, L., Dagenais, C. & Cuerrier-Auclair, S. (2016). Fire-Resistance of Timber-Concrete Composite Floor Using Laminated Veneer Lumber, *Fpinnovations*, Quebec, Kanada.
- Sağlam, B.A. (2009). Büyük Açıklıklı Yapılarda Prefabrike Betonarme, Çelik ve Tutkallı Tabakalı Ahşap Dolu Gövdeli Kirişlerin Karşılaştırılması ve Bir Örnek Üzerinden İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Schmid, J., Barber, D., Brandon, D. & Werther, N. (2021). The need for common terminology for fire safe design of timber structures.
- Smith, I. & Frangi, A.(2014). Use of Timber in Tall Multi-Storey Buildings, *StructuralEngineering Doc SED 13*, International Association for Bridge and Structural Eng IABSE.
- Su, J. Z. (2018). Fire Safety of CLT Buildings in Canada.
- Teibinger, M. & Matzinger, I. (2021). Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings.: https://www.hasslacher.com/data/_dateimanager/broschuere/HNT-Guidelines_building_physics_CLT.pdf adresinden alınmıştır.
- White, R.H. & Dietenberger, M. (2010). Fire safety of wood construction. Forest Products Laboratory, *Wood Handbook- Wood as an Engineering Material*, 1-17.
- Yılmaz, S. (2020). Doğu Karadeniz Bölgesi Kırsal Turizm Tesisleri İçin Yapım Sistemi Önerisi: Yapay Çentikli Ahşap-Beton Kompozit Sistem, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Zelinka, S., Hasburgh, L., Bourne, K., Tucholski, D. & Ouellette, J. (2018). Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building, United States Department of Agriculture.
- URL-1. (2023, Haziran 1). Large Compartment Fire Experiments: Expanding Knowledge of Building Safely With Timber: www.arup.com/perspectives/large-compartment-fire-

experiments-expanding-knowledge-of-building-safely-with-timber.html adresinden alınmıştır.

- URL-2. (2022, Mayıs 13). Mehrfamilienhaus E3 in Berlin: www.baunetzwissen.de/brandschutz/objekte/wohnbauten/mehrfamilienhaus-e3-in-berlin-31877719.html adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2023, Nisan 10). Code Council Ad Hoc Committee on Tall Wood Buildings-ICC: <https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/cs/icc-ad-hoc-committee-on-tall-woodbuildings.html> adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2022, Mayıs 18). Horyuji Temple: www.horyuji.or.jp/en/garan/gojyunoto.html adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2022, Mayıs 18). History of Horyu-ji: <https://allabout-japan.com/en/article/4536.html> adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2022, Mayıs 18). Ahmet Afif Paşa Yalısı: www.archi101.com/yapilar/ahmet-afif-pasa-yalisi/.html adresinden alınmıştır.
- URL-7. (2022, Mayıs 20). Murray Grove yapısı: www.waughthistleton.com/murray-grove.html adresinden alınmıştır.
- URL-8. (2022, Mayıs 20). Yapısal Ahşap: www.asmazahsap.com/katalog.html adresinden alınmıştır.
- URL-9. (2022, Mayıs 21). CLT: www.clta.jp/clt.html adresinden alınmıştır.
- URL-10. (2022, Mayıs 28). Mass Timber Glulam Beams: www.kalesnikoff.com/products/mass-timber-glulam-beams.html adresinden alınmıştır.
- URL-11. (2022, Mayıs 28). Lumber Based Mass Timber Products Inconstruction: www.intechopen.com/online-first/lumber-based-mass-timber-products-inconstruction.html adresinden alınmıştır.
- URL-12. (2022, Mayıs 28). Laminated Veneer Lumber: www.futurebuild.co.nz/about-us/what-is-lvl.html adresinden alınmıştır.
- URL-13. (2023, Temmuz 12). Timber-Concrete Composite Systems: Lighter Weight and Lower Carbon: www.entuitive.com/ensight-trend-home/timber-concrete-composite-systems-lighter-weight-and-lower-carbon.html adresinden alınmıştır.
- URL-14. (2023, Temmuz 12). Yapı Teknolojisi ve Malzeme: www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=407&RecID=4109.html adresinden alınmıştır.
- URL-15. (2023, Temmuz 12). Timber Concrete Composite: www.structurecraft.com/materials/mass-timber/timber-concrete-composite.html adresinden alınmıştır.

- URL-16. (2022, Temmuz 15). SFPE Europe: www.sfpe.org adresinden alınmıştır.
- URL-17. (2022, Temmuz 15). Post-Fire Analysis of Solid-Sawn Heavy Timber Beams: www.structuremag.org/?p=1129.html adresinden alınmıştır.
- URL-18. (2023, Ocak 5). Reaction to Fire: www.bttg.co.uk/testing/construction-products/reaction-to-fire.html adresinden alınmıştır.
- URL-19. (2023, Ocak 5). Fire Retardant Treated Wood: www.cwc.ca adresinden alınmıştır.
- URL-20. (2023, Ocak 15). What is an FRL: www.promat.com adresinden alınmıştır.
- URL-21. (2023, Ocak 15). Introducing to Timber Fire: www.timberfirehub.co.uk/introduction-to-timber-fire.html adresinden alınmıştır.
- URL-22. (2022, Şubat 9). Crosslam Timber Fire Resistance and Rating: www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-fire-resistance-and-rating.html adresinden alınmıştır.
- URL-23. (2023, Şubat 18). Carbon 12 yapısı: www.buildingcarbon12.com/cross-laminated-timber.html adresinden alınmıştır.
- URL-24. (2023, Şubat 18). Using Char Methods to Demonstrate Fire Resistance of Exposed Wood Members: www.woodworks.org/resources/using-char-methods-to-demonstrate-fire-resistance-of-e.html adresinden alınmıştır.
- URL-25. (2022, Eylül 12). Introducing Brock Commons: Looking up to the world's tallest contemporary wood building: www.constructioncanada.net/introducing-brock-commons-looking-up-to-the-worlds-tallest-contemporary-wood-building/2.html adresinden alınmıştır.
- URL-26. (2021, Aralık 10). Mass Timber Hybrid Structure: www.acetra.rs/news/mass-timber-hybrid-structure.html adresinden alınmıştır.
- URL-27. (2021, Aralık 10). Drewno Klejone BSH: www.best-timber-polska.business.site.html adresinden alınmıştır.
- URL-28. (2021 Aralık 15). Translucent Fire Protection for Wood Buildings: www.nordtreat.com/en/fire-retardants/nt-deco.html adresinden alınmıştır.
- URL-29. (2023 Mart 21). Ul Solutions Updates Firestop System Numbering Scheme: www.ul.com/news/ul-solutions-updates-firestop-system-numbering-scheme.html adresinden alınmıştır.
- URL-30. (2023, Mart 21). Yangın Durdurucular: www.eplusb.com/tr/urunler?urun-gruplari=105&sektor=129&marka=0.html adresinden alınmıştır.
- URL-31. (2023, Mart 21). Firesafe Fire Wrap, Brannpakning: www.firesafe.no/product/firesafe-fire-wrap.html adresinden alınmıştır.

- URL-32. (2023, Mart 22). Firestop & Fire Protection: <https://www.hilti.com> adresinden alınmıştır.
- URL-33. (2021, Aralık 10). Sprinkler (Yağmurlama) Sistemi Nedir, Nasıl Çalışır: www.genelmekanik.com/index.php/2017/12/30/sprinkler-yagmurlama-sistemi-nedir-nasil-calisir.html adresinden alınmıştır.
- URL-34. (2021, Aralık 22). Sprinkler Söndürme Sistemleri: www.sehayangin.com.tr/sprinkler-sondurme-sistemleri-25.html adresinden alınmıştır.
- URL-35. (2023, Şubat 9). Pushing the Envelope: The Origine project in Québec: www.rockwool.com/north-america/advice-and-inspiration/case-studies/origine-case-stud.html adresinden alınmıştır.
- URL-36. (2023, Şubat 22). Large-Scale Fire Demonstration: www.nordic.ca/en/documentation/publications/large-scale-fire-demo.html adresinden alınmıştır.
- URL-37. (2022, Kasım 20). Timber Trends: 7 To Watch for 2020: www.archdaily.com/930422/timber-trends-7-to-watch-for-2020.html adresinden alınmıştır.
- URL-38. (2022, Kasım 25). Tall Wood Buildings in the 2021 IBC – Up to 18 Stories of Mass Timber: www.woodworks.org/resources/tall-wood-buildings-in-the-2021-ibc-up-to-18-stories-of-mass-timber.html adresinden alınmıştır.
- URL-39. (2023, Ocak 20). National construction code: www.ncc.abcb.gov.au/practitioners/what-you-need-know.html adresinden alınmıştır.
- URL-40. (2023, Mart 21). 2020 NBCC code brings new era for Canadian wood construction: www.canada.constructconnect.com/joc/news/government/2019/05/2020-nbcc-code-brings-new-era-canadian-wood-construction.html adresinden alınmıştır.
- URL-41. (2023, Mart 22). New guidelines on Encapsulated Mass Timber Construction in BC published: www.fastcpp.com/news/2021/04/new-guidelines-on-encapsulated-mass-timber-construction-published.html adresinden alınmıştır.
- URL-42. (2021, Aralık 10). Carbon 12 yapısı: www.thinkwood.com/construction-projects/carbon12.html adresinden alınmıştır.
- URL-43. (2021, Aralık 10). Carbon 12 yapısı: www.kaiserpath.com/carbon12.html adresinden alınmıştır.
- URL-44. (2022, Nisan 22). Carbon 12 yapısı: www.rdh.com/our-case-studies/carbon12.html adresinden alınmıştır.
- URL-45. (2022, Nisan 23). Carbon 12 yapısı: www.structurlam.com/wp-content/uploads/2017/04/Carbon-12-Case-Study-2.pdf adresinden alınmıştır.

- URL-46. (2022, Eylül 3). T3 Minneapolis yapısı: www.archdaily.com/search/all?q=T3%20minneapolis&ad_source=jv-header.html adresinden alınmıştır.
- URL-47. (2022, Eylül 4). T3 Minneapolis yapısı: www.treehugger.com/everything-old-new-again-t-building-minneapolis-4855499.html adresinden alınmıştır.
- URL-48. (2022, Eylül 4). T3 Minneapolis yapısı: www.hines.com/properties/t3-minneapolis-minneapolis.html adresinden alınmıştır.
- URL-49. (2022, Eylül 20). T3 Minneapolis yapısı: www.startribune.com/wood-office-buildings-are-taking-root-nationwide/572686442.html adresinden alınmıştır.
- URL-50. (2022, Eylül 25). T3 Minneapolis yapısı: www.archello.com/project/t3-minneapolis.html adresinden alınmıştır.
- URL-51. (2021, Kasım 20). International House Sydney yapısı: www.architectureanddesign.com.au/news/international-house-sydney-takes-out-international.html adresinden alınmıştır.
- URL-52. (2021, Kasım 20) International House Sydney yapısı: www.archdaily.com/871807/international-house-tzannes?ad_source=search&ad_medium=projects_tab.html adresinden alınmıştır.
- URL-53. (2022, Şubat 25). International House Sydney yapısı: www.architectureau.com/articles/international-house-sydney.html adresinden alınmıştır.
- URL-54. (2022, Mart 5). International House Sydney yapısı: www.warrensmith.com.au/wp-content/uploads/2019/06/Commercial-Brochure-17LR.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-55. (2022, Mart 10). International House Sydney yapısı: www.tzannes.com.au/projects/international-house-sydney-daramu-house.html adresinden alınmıştır.
- URL-56. (2022, Mart 11). International House Sydney yapısı: www.hess-timber.com/en/references/detail/international-house-sydney.html adresinden alınmıştır.
- URL-57. (2022, Eylül 5). International House Sydney yapısı: www.architizer.com/projects/international-house-sydney.html adresinden alınmıştır.
- URL-58. (2022, Eylül 6). Forte Apartments yapısı: www.architectureanddesign.com.au/projects/multi-residential/forte-by-lend-lease.html adresinden alınmıştır.
- URL-59. (2022, Eylül 6). Forte Apartments yapısı: www.archdaily.com/784359/forte-apartment-meroficina?ad_source=search&ad_medium=projects_tab.html adresinden alınmıştır.

- URL-60. (2022, Eylül 7). Forte Apartments yapısı: www.resilmount.com.au/projects/forte-apartments-vic.html adresinden alınmıştır.
- URL-61. (2022, Ekim 2). Forte Apartments yapısı: www.builtoffsite.com.au/emag.html adresinden alınmıştır.
- URL-62. (2022, Ekim 5). Forte Apartments yapısı: www.woodsolutions.com.au/case-studies/forte-living.html adresinden alınmıştır.
- URL-63. (2022, Kasım 2). Dalston Works yapısı: www.hubblehq.com/office-space/7495/kitt-dalston-works.html adresinden alınmıştır.
- URL-64. (2022, Kasım3). Dalston Works yapısı: www.homeviews.com/development/dalston-works-e8.html adresinden alınmıştır.
- URL-65. (2022, Kasım 4). Dalston Works yapısı: www.waughthistleton.com/dalston-works.html adresinden alınmıştır.
- URL-66. (2022, Kasım 8). Dalston Works yapısı: www.dezeen.com/2023/03/23/dalston-works-waugh-thistleton-architects-timber-revolution.html adresinden alınmıştır.
- URL-67. (2022, Kasım 10). Dalston Works yapısı: www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world.html adresinden alınmıştır.
- URL-68. (2022, Kasım 12). Origine yapısı: www.synchroimmobilier.com/type-projet/projet-en-prevente.html adresinden alınmıştır.
- URL-69. (2022, Kasım 12). Origine yapısı: www.cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/Origine-Case-Study.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-70. (2022, Kasım 15). Origine yapısı: www.thinkwood.com/construction-projects/origine-tallest-wood-building-in-eastern-north-america.html adresinden alınmıştır.
- URL-71. (2022, Kasım 15). Origine yapısı: www.nordic.ca/en/projects/structures/origine.html adresinden alınmıştır.
- URL-72. (2022, Kasım 17). Origine yapısı: www.wood-works.ca.html adresinden alınmıştır.
- URL-73. (2022, Kasım 20). Origine yapısı: www.rockwool.com/north-america/advice-and-inspiration/case-studies/origine-case-study.html adresinden alınmıştır.
- URL-74. (2022, Kasım 30). Hoas Tuuliniitty yapısı: www.woschitzgroup.com/en/projects/hoho-vienna-wooden-tower.html adresinden alınmıştır.
- URL-75. (2022, Kasım 30). Hoas Tuuliniitty yapısı: www.puinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/hoas-tuuliniitty.html adresinden alınmıştır.

- URL-76. (2022, Aralık 1). Hoas Tuuliniitty yapısı: www.hoas.fi/en/housing/tuuliniitty-1.html adresinden alınmıştır.
- URL-77. (2022, Aralık 2). Hoas Tuuliniitty yapısı: www.kk-palokonsultti.com/en/hoas-tuuliniitty-espoo.html adresinden alınmıştır.
- URL-78. (2022, Aralık 5). Hoas Tuuliniitty yapısı: www.nordtreat.com/en/references/hoas-tuuliniitty.html adresinden alınmıştır.
- URL-79. (2023, Nisan 5). Lighthouse Joensuu yapısı: www.wooddesignandbuilding.com/lighthouse-joensuu.html adresinden alınmıştır.
- URL-80. (2023, Nisan 5). Lighthouse Joensuu yapısı: www.puuinfo.fi/arkkitehtuuri/apartman-blogu/lighthouse-joensuu/?lang=tr adresinden alınmıştır.
- URL-81. (2023, Nisan 6). Lighthouse Joensuu yapısı: www.archello.com/project/lighthouse-joensuu.html adresinden alınmıştır.
- URL-82. (2023, Nisan 10). Lighthouse Joensuu yapısı: www.wooddesignandbuilding.com/lighthouse-joensuu.html adresinden alınmıştır.
- URL-83. (2023, Nisan 20). Treet yapısı: www.skyscrapercenter.com/building/treet/16540.html adresinden alınmıştır.
- URL-84. (2022, Ağustos 8). Treet yapısı: www.urbannext.net/treet.html adresinden alınmıştır.
- URL-85. (2022, Ağustos 9). Treet yapısı: www.orsiad.com.tr/wp-content/uploads/leilighet_stor_1.html adresinden alınmıştır.
- URL-86. (2023, Ocak 15). Brock Commons yapısı: www.archdaily.com/879625/.html adresinden alınmıştır.
- URL-87. (2023, Ocak 15). Brock Commons yapısı: www.hkarchitekten.at/en/project/student-residence-at-brock-commons.html adresinden alınmıştır.
- URL-88. (2023, Ocak 16). Brock Commons yapısı: www.vancouver.housing.ubc.ca/residences/brock-commons.html adresinden alınmıştır.
- URL-89. (2023, Ocak 17). Brock Commons yapısı: www.cwc.ca/wp-content/uploads/2018/07/CS-BrockCommon.Study_.23.lr_.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-90. (2023, Ocak 20). Brock Commons yapısı: www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-code-compliance_case-study_naturallywood.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-91. (2023, Temmuz 20). Haut yapısı: www.teamv.nl/project/haut/.html adresinden alınmıştır.

- URL-92. (2023, Temmuz 20). Haut yapısı: www.archello.com/project/haut.html adresinden alınmıştır.
- URL-93. (2023, Temmuz 20). Haut yapısı: www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture.html adresinden alınmıştır.
- URL-94. (2023, Temmuz 20). Haut yapısı: <https://www.arup.com/projects/haut> adresinden alınmıştır.
- URL-95. (2021, Aralık 2). Hoho Wien yapısı: www.woschitzgroup.com/en/projects/hoho-vienna-wooden-tower.html adresinden alınmıştır.
- URL-96. (2021, Aralık 2). Hoho Wien yapısı: www.architizer.com/projects/hoho-wien.html adresinden alınmıştır.
- URL-97. (2021, Aralık 3). Hoho Wien yapısı: www.hoho-wien.at/en/information.html adresinden alınmıştır.
- URL-98. (2021, Aralık 3). Hoho Wien yapısı: www.siga.swiss/global_en/projects/hoho-wien.html adresinden alınmıştır.
- URL-99. (2021, Kasım 15). Mjostarnet yapısı: www.archdaily.com/934374/mjostarnet-the-tower-of-lake-mjosa-voll-arkitekter.html adresinden alınmıştır.
- URL-100. (2021, Kasım 15). Mjostarnet yapısı: www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/mjostarnet/mjostarnet---construction-of-an-81-m-tall-timber-building_presentation.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-101. (2021, Aralık 8). Mjostarnet yapısı: www.sweco.dk/showroom/mjoestaarnet.html adresinden alınmıştır.
- URL-102. (2022, Şubat 9). Mjostarnet yapısı: www.designbuildnetwork.com/projects/mjosa-tower-mjostarnet.html adresinden alınmıştır.
- URL-103. (2022, Şubat 10). Mjostarnet yapısı: www.puuinfo.fi/arkkitehtuuri/block-of-flats/hoas-tuuliniitty-worlds-tallest-modular-wooden-building-completed-in-espoo/?lang=en adresinden alınmıştır.
- URL-104. (2023, Ağustos 10). Ascent yapısı: www.thinkwood.com/construction-projects/ascent.html adresinden alınmıştır.
- URL-105. (2023, Ağustos 10). Ascent yapısı: www.timberlab.com/projects/ascent.html adresinden alınmıştır.
- URL-106. (2023, Ağustos 10). Ascent yapısı: www.fs.usda.gov/inside-fs/delivering-mission/apply/worlds-tallest-timber-building-opens.html adresinden alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Selen KALKIŞIM, 2012 yılında Tefik Serdar Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı.

