

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARİHİ KONUT YAPILARDA GELENEKSEL VE GÜNCEL
AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİNİN KULLANIMININ MALİYET
VE MİMARİ ETKİLER ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI
DEĞERLENDİRİLMESİ

MUHAMMET EMİN ŞIKŞAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FATMA İLKNUR KARA

OCAK 2026

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ KONUT YAPILARDA GELENEKSEL VE GÜNCEL
AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİNİN KULLANIMININ
MALİYET VE MİMARİ ETKİLER ÜZERİNDEN
KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ**

MUHAMMET EMİN ŞIKŞAK

**YÜKSEK LİSANS
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ FATMA İLKNUR KARA

OCAK 2026

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**A COMPARATIVE EVALUATION OF TRADITIONAL
AND CONTEMPORARY TIMBER CONSTRUCTION
SYSTEMS IN HISTORIC RESIDENTIAL BUILDINGS IN
TERMS OF COST AND ARCHITECTURAL IMPACTS**

MUHAMMET EMİN ŞIKŞAK

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASSIST. PROF. DR. FATMA İLKNUR KARA

JANUARY 2026

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30/12/2025 tarih ve 2025/73 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/01/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Muhammet Emin ŞIKŞAK'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Fatma İlknur KARA

ÜYE

: Doç. Dr. Seher GÜZELÇOBAN MAYUK

ÜYE

: Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Hayallerindeki evi sonunda inşa etmiş
gelecekteki Ben'e..*

ÖZET

Bu tez, İstanbul’da seçilmiş bir tarihi ahşap konağın yeniden inşası üzerinden, geleneksel ahşap karkas sistem ile modern çapraz lamine ahşap (CLT) sistemlerin maliyet ve mimari performans açılarından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Tarihi ahşap yapıların rekonstrüksiyonunda geleneksel yapım teknikleri ile endüstriyel ahşap paneller arasında nasıl bir tercih yapılacağı, özellikle ilk yapım maliyeti, şantiye süresi, enerji performansı ve özgün mimari karakterin korunması bağlamında bir karşılaştırma konusu olarak ele alınmıştır. İstanbul’daki ahşap konak örneklerinde bu karar “geleneksel karkas mı, yoksa modern CLT mi?” ikilemi üzerinden şekillenmekte ve aynı mimari senaryo altında maliyet, şantiye süresi, enerji performansı ve mekânsal etkileri birlikte ele alan sayısal karşılaştırmalar sınırlı kalmaktadır. Bu tez, söz konusu boşluğu görünür kılmayı ve karar vericiler için karşılaştırılabilir bir değerlendirme zemini oluşturmayı amaçlamaktadır.

Çalışmada öncelikle ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri, geleneksel ve modern ahşap taşıyıcı sistem tipleri ile uluslararası koruma ilkeleri incelenmiştir. Ardından İstanbul’da koruma altındaki bir ahşap konak seçilerek yapının taşıyıcı iskeleti ve kabuk kurgusu üç boyutlu olarak modellenmiş, statik ve dinamik davranışın değerlendirilmesi için CLT senaryoları TimberTech üzerinden test edilmiştir. Rekonstrüksiyon için üç ayrı yapım senaryosu kurgulanmıştır: geleneksel ahşap karkas dış duvar ve döşeme sistemi, özgün kalınlığı koruyan CLT duvar (Opt-1) ve CLT’nin taşıma kapasitesinden faydalanan daha ince kesitli CLT duvar (Opt-2).

Her bir senaryo için duvar ve döşemelerin metrajları çıkarılmış; geleneksel imalatlar için Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın poz ve birim fiyatları kullanılmıştır. CLT paneller için ise üretici firma teklifleri esas alınarak poz temelli bir maliyet analizi oluşturulmuştur. Buna ek olarak, üç duvar kesiti için ısı geçirgenlik katsayıları (U değeri) hesaplanmış duvar kalınlığındaki değişimin net kullanılabilir alan, kabuk etkisi ve cephe oranları üzerindeki sonuçları mimari açıdan tartışılmış; şantiye süreci, işçilik ihtiyacı, lojistik ve çevresel etkiler bakımından da değerlendirmeler yapılmıştır.

Sonuçlar, seçilen örnek yapı ve kabuller çerçevesinde, CLT tabanlı senaryoların geleneksel karkas sisteme kıyasla daha yüksek ilk yapım maliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Isı yalıtımlı CLT Opt-1 senaryosu, ısıl performans bakımından en avantajlı seçenek olmuş; yalıtımsız ve ince kesitli CLT Opt-2 ise net kullanım alanını artırırken hem enerji performansı hem de koruma ilkeleri açısından daha tartışmalı bir konuma düşmektedir. Geleneksel karkas sistem, özgün malzeme ve detay sürekliliğiyle mimari özgünlüğe en yakın alternatif olarak öne çıkmıştır.

Tez, tarihi ahşap yapıların rekonstrüksiyonunda geleneksel ve modern ahşap sistemlerin aynı mimari senaryo altında poz temelli, sayısal ve mimari açıdan karşılaştırılmasına yönelik tekrarlanabilir bir yöntem önermekte ve hem koruma pratiği hem de ahşap yapı teknolojileri alanında karar vericilere somut veri sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Ahşap Yapı, Rekonstrüksiyon, Geleneksel Ahşap Karkas Sistem, CLT Yığma Sistem, Maliyet Analizi, Mimari Karşılaştırma.

ABSTRACT

This thesis aims to comparatively evaluate the cost and architectural performance of traditional timber frame (karkas) construction and modern cross-laminated timber (CLT) systems through the reconstruction of a selected historic wooden mansion in Istanbul. In the reconstruction of historic timber buildings, the choice between traditional building techniques and industrial timber panels is examined as a key comparative issue, particularly in terms of initial construction cost, construction time, energy performance, and the preservation of the original architectural character. In Istanbul's wooden mansion cases, this decision is often shaped by the dilemma of "traditional timber frame or modern CLT?", yet quantitative comparisons that address cost, on-site duration, energy performance, and spatial impacts together under the same architectural scenario remain limited. This thesis seeks to make this gap visible and to establish a comparable evaluation framework for decision-makers.

The study first reviews the physical and mechanical properties of timber, traditional and modern timber structural system types, and international conservation principles. Then, a protected wooden mansion in Istanbul is selected, and the building's structural frame and envelope configuration are modeled in three dimensions. CLT scenarios are tested in TimberTech to evaluate static and dynamic behavior. Three construction scenarios are developed for the reconstruction: a traditional timber frame exterior wall and floor system, a CLT wall option that preserves the original thickness (Opt-1), and a thinner-section CLT wall option that benefits from CLT's load-bearing capacity (Opt-2).

For each scenario, quantity take-offs for walls and floors are prepared; unit prices and item codes (poz) from the Ministry of Culture and Tourism and the Ministry of Environment and Urbanization are used for traditional works. For CLT panels, a poz-based cost analysis is developed based on manufacturer quotations. In addition, thermal transmittance (U-value) calculations are performed for the three wall sections; the architectural implications of changes in wall thickness—such as net usable area, envelope effect, and façade ratios—are discussed. The construction process, labor demand, logistics, and environmental impacts are also evaluated.

The results, within the selected case and stated assumptions, indicate that CLT-based scenarios have higher initial construction costs compared to the traditional timber frame system. The insulated CLT Opt-1 scenario performs best in terms of thermal performance, while the uninsulated and thinner CLT Opt-2 increases net usable area but becomes more debatable in terms of both energy performance and compliance with conservation principles. The traditional timber frame system stands out as the closest alternative to architectural authenticity due to continuity in original materials and detailing.

Overall, the thesis proposes a replicable method for comparing traditional and modern timber systems under the same architectural scenario through a poz-based, quantitative, and architectural evaluation, aiming to provide decision-makers with concrete data in both conservation practice and timber construction technologies.

Keywords: Historic Timber Building, Reconstruction, Traditional Timber Frame System, CLT Wall System, Cost Analysis, Architectural Comparison.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, deneyim ve rehberlikleriyle bana yol gösteren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatma İlknur Kara'ya; daimî desteği, sabrı ve katkıları için Günal Eren'e; verdikleri değerli bilgiler ile tez sürecimde bana yardımcı olan Hastürk firmasından Okan Hastürk'e, ATT firmasından Şafak Çörüz'e, Erdem Kazım Demirkıran'a, Rothoblass ve Pfeifer firmalarına; yorulduğumda bana destek olan ve hep inanan sevgili arkadaşlarım Hatice Nur, Erdem ve Simanur'a; her daim kendilerini arkamda hissettiğim ve benimle her şeylerini paylaşan biricik ablalarım Kevser ve Kübra'ya; canım abim ve aileme; beni her şeyde daima ilk sıraya koyan en büyük destekçilerim sevgili annem ve babama teşekkürlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Problemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı	4
1.4. Çalışmanın Yöntemi	4
2. AHŞAP VE ÖZELLİKLERİ	6
2.1. Ahşabın Yapısal Özellikleri	7
2.1.1. Ahşabın Yoğunluğu ve Sertliği	8
2.1.2. Ahşabın Nem İçeriği ve Higroskopik Yapısı	9
2.1.3. Ahşabın Termal ve Akustik Özellikleri	10
2.1.4. Ahşabın Estetik Görünüm ve Mimari Kullanımı	12
2.2. Ahşabın Mekanik Özellikleri	12
2.2.1. Ahşabın Çekme Dayanımı	13
2.2.2. Ahşabın Basınç Dayanımı	15
2.2.3. Ahşabın Eğilme ve Bükülme Dayanımı	16
2.2.4. Ahşabın Elastikiyet Modülü ve Deformasyon Özellikleri	17
2.3. Ahşabın Depreme Karşı Direnci	18
2.4. Ahşabın Yangına Karşı Direnci	19
2.5. Ahşabın Çevresel ve Sürdürülebilirlik Özellikleri	21
3. AHŞAP YAPILAR VE TAŞIYICI KURGUSU	23
3.1. Geleneksel Ahşap Yapım Sistemleri	26
3.1.1. Yığma Sistem	27
3.1.2. Karkas (Çatki) Sistem	30
3.1.2.1. Dolgu Malzemeleri	30
3.1.2.2. Kaplama ve Sıva Malzemeleri	32
3.2. Modern Ahşap Yapım Sistemleri	34
3.2.1. Mühendislik Ahşap Malzemeleri	34
3.2.1.1. CLT (Çapraz Lamine Ahşap) Malzeme	35
3.2.1.2. GLT (Glulam Lamine Ahşap) Malzeme	37
3.2.1.3. SCL Ailesi: LVL / LSL / OSL / PSL	38
3.2.1.4. Yapıştırıcısız Paneller: DLT ve NLT	39
3.2.2. Modern Ahşap Bağlantı Elemanları	41
3.2.2.1. Çivi	41
3.2.2.2. Tel Zımbalar	42
3.2.2.3. Cıvatalar	42
3.2.2.4. Kavela (Dowel)	43
3.2.2.5. Vidalar	43

3.2.2.6. Zımbalı Metal Levha (Punched Metal Plate)	43
3.2.2.7. Kayma Levhası (Shear-Plate)	44
3.2.2.8. Dişli Levha Bağlayıcıları (Toothed-Plate Connectors)	44
3.2.2.9. Çekme Ankrajı (Hold-Down)	44
3.2.2.10. Açılı Plakalar	45
3.2.3. Modern Ahşap Taşıyıcı Kurgusu	46
3.2.3.1. CLT Panel Yığma Sistem	47
3.2.3.2. SIP (Structural Insulated Panel) ve Kaset Paneller	50
3.2.3.3. Hafif Ahşap Çerçeve Sistem (Woodframe)	52
3.2.3.4. Ahşap Kolon-Kiriş (Post and Beam)	55
4. TARİHİ AHŞAP YAPILARIN ÖNEMİ VE ÖZELLİKLERİ	58
4.1. Türkiye’deki Ahşap Yapı Stoğu	59
4.1.1. Ahşap Yapı Stoğunun Zamansal Katmanları	60
4.1.2. Ahşap Yapı Stoğunun Bölgesel Katmanları	62
4.2. Tarihi Ahşap Yapıların Restorasyonu	64
4.2.1. Tarihi Ahşap Yapıların Rekonstrüksiyonu	64
4.3. Modern Yapım Sistemlerinin ve Malzemelerin Restorasyonda Kullanımı	66
4.3.1. Mühendislik Ahşabının Restorasyonda Kullanıldığı Örnekler	68
4.3.1.1. Santa Maria di Collemaggio Bazilikası (L’Aquila, İtalya)	69
4.3.1.2. Teatro Petruzzelli Tiyatro Binası (Bari, İtalya)	69
4.3.1.3. Valentino (Torino) Şatosu (Turin, İtalya)	70
4.4. Restorasyon ve Rekonstrüksiyon Müdahalelerinde Uluslararası İlkeler ile Türkiye’de Hukuki–İdari Çerçeve	71
4.4.1. Rekonstrüksiyon İçin Özel Koşullar	73
4.4.2. Geleneksel Sistemin CLT ile Yeniden Yorumlanması ve Koruma İlkeleriyle İlişkisi	74
5. UYGULAMA: İSTANBUL’DA BİR TARİHİ KONAK MODELİ	78
5.1. Tarihi Ahşap Konağın Mimari Özellikleri	78
5.1.1. Plan Kurgusu	79
5.1.2. Taşıyıcı Sistem: Ahşap Karkasın Mantığı	81
5.1.2.1. Taş Su Basmanı (Taş Dolgu Duvar)	82
5.1.2.2. Yastık Kirişleri	83
5.1.2.3. Ana Dikmeler	83
5.1.2.4. Ara Dikmeler	83
5.1.2.5. Ara Hatıllar	84
5.1.2.6. Payandalar	84
5.1.2.7. Döşeme Kirişleri	85
5.1.2.8. Merdiven	85
5.1.2.9. Çatı: Mahya Kirişi, Aşıklar, Mertekler, Saçak ve İç Destekler	86
5.2. Yapının Statik ve Dinamik Hesapları	87
5.3. Yapının Rekonstrüksiyonu İçin Üç Senaryo	91
5.4. Maliyet Karşılaştırması	94
5.4.1. Analiz Yöntemi ve Veri Kaynakları	95
5.4.2. Sınırlandırmalar ve Kabuller	97
5.4.3. Geleneksel Yapım Sistemi Maliyet Analizi	99
5.4.3.1. Geleneksel Sistem için Kullanılan Pozlar ve Sonuç Olarak Ortaya Çıkan Fiyat	104
5.4.4. Modern CLT Yapım Sistemi Maliyet Analizi	109

5.4.4.1. Modern CLT Yapım Sistem için Kullanılan Pozlar ve Sonuç Olarak Ortaya Çıkan Fiyat	112
5.4.4.2. CLT Opt-1: Yalıtımlı Dış Duvarlı Senaryo	115
5.4.4.3. CLT Opt-2: Yalıtımsız Dış Duvarlı Senaryo	116
5.4.5. Üç Yapım Sisteminin Toplam Maliyet Açısından Karşılaştırılması	117
5.5. Mimari Karşılaştırma	118
5.5.1. Değişen Duvar Kalınlıkları (Net Alan ve Kabuk Etkisi)	119
5.5.2. Cephe–Detay Sürekliliği	121
5.5.3. U Değerleri Karşılaştırması	122
5.5.3.1. Senaryo 1: Geleneksel Karkas Sistem	123
5.5.3.2. Senaryo 2: CLT Opsiyon 1	124
5.5.3.3. Senaryo 3: CLT Opsiyon 2- Yalıtımsız İnce Kesit	125
5.5.4. Şantiye Süreci	126
5.5.5. Mimari Özgünlük	129
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR	137
ÖZGEÇMİŞ	146
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	147

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan (m ²)
d	: Kalınlık (mm / cm / m)
f, f _n	: Doğal frekans (Hz)
T, T _n	: Periyot (s)
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı (W/(m·K))
R	: Isıl direnç (m ² K/W)
U	: Isıl geçirgenlik / ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
S ₁	: 1,0 s periyot harita spektral ivmesi
S _s	: Kısa periyot harita spektral ivmesi
S _{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivmesi
S _{D1}	: 1,0 s periyot tasarım spektral ivmesi
PGA	: Maksimum yer ivmesi
PGV	: Maksimum yer hızı
kN	: Kuvvet birimi (kilonewton)
N	: Kuvvet birimi (newton)
kg	: Kütle birimi (kilogram)
m	: Uzunluk birimi (metre)
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
m ²	: Alan birimi
m ³	: Hacim birimi
Hz	: Hertz (frekans birimi)
s	: Saniye
W/m ² K	: Isıl geçirgenlik birimi
W/(m·K)	: Isıl iletkenlik birimi
€	: Avro
TL	: Türk Lirası
≈	: Yaklaşık değer
±	: Artı-eksi tolerans/sapma
≤	: Küçük veya eşit
%	: Yüzde
BIM	: Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling)
CLT	: Çapraz Lamine Ahşap (Cross-Laminated Timber)
CNC	: Bilgisayar sayısal denetimli üretim (Computer Numerical Control)
C24	: Yapısal kereste dayanım sınıfı (C24)
DD-2	: Deprem düzeyi (tasarım deprem seviyesi)
DLT	: Dübellenmiş Lamine Ahşap (Dowel-Laminated Timber)
EN	: Avrupa Normu (European Norm)
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren (Expanded Polystyrene)
FRP	: Lif Takviyeli Polimer (Fiber Reinforced Polymer)
GFRP	: Cam Lif Takviyeli Polimer (Glass Fiber Reinforced Polymer)
GLT	: Yapıştırma lamine ahşap / Glulam (Glued-Laminated Timber)
ICE	: Inventory of Carbon ve Energy (veritabanı adı)
ICOMOS	: International Council on Monuments and Sites
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KTB	: (T.C.) Kültür ve Turizm Bakanlığı
KUDEB	: Koruma Uygulama ve Denetim Bürosu
LBA	: Bağlantı elemanı ürün kodu
LBSH	: Bağlantı elemanı ürün kodu
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment)
LCC	: Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost)

LSL	: Laminated Strand Lumber
LVL	: Lamine Kaplama Kereste (Laminated Veneer Lumber)
MOE	: Elastisite Modülü (Modulus of Elasticity)
MOR	: Kopma Modülü / Eğilme dayanımı (Modulus of Rupture)
NLT	: Çivilenmiş Lamine Ahşap (Nail-Laminated Timber)
OSB	: Yönlendirilmiş Yonga Levha (Oriented Strand Board)
OSL	: Oriented Strand Lumber
POZ	: Resmi birim fiyat/imalat kalemi poz numarası
PSL	: Parallel Strand Lumber
SCL	: Yapısal Kompozit Keresteler (Structural Composite Lumber)
SIP	: Yalıtımlı Yapısal Panel (Structural Insulated Panel)
SLS	: Kullanım Sınır Durumu (Serviceability Limit State)
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standardı
TS 825	: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı
ULS	: Nihai Sınır Durumu (Ultimate Limit State)
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler (Volatile Organic Compounds)
VGS	: Bağlantı elemanı ürün kodu
WHT	: Metal bağlantı elemanı ürün kodu
ZC	: Yerel zemin sınıfı (tezde kullanılan zemin sınıfı)
FIX420	: Kimyasal ankraj/ankraj sistemi ürün kodu
HBS 8×100	: Vida/bağlantı elemanı ürün kodu
LBA 4,0×60	: Bağlantı elemanı ürün kodu
LBSh 5×50	: Vida/bağlantı elemanı ürün kodu
VGS 9×140	: Vida/bağlantı elemanı ürün kodu
NNO100x100	: Metal bağlantı elemanı ürün kodu
WHT40	: Metal bağlantı/ankraj elemanı ürün kodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Ağacın gövde kesiti (Aydın, 2019).	8
Şekil 2.2: Mukavemet – Nemlilik derecesi ilişkisi (Görgün ve Ünsal, 2023).	9
Şekil 2.3: Yapısal ahşap ürünlerin ısı iletkenlik katsayısı değişimleri (Öztürk, Birinci ve Demirkır, 2022).	11
Şekil 2.4: Ahşaptaki ortotropik yönler ve düzlemler (Gómez-Royuela, 2022).	13
Şekil 2.5: Çekme kuvveti altındaki lifler (Malo, 2016).	14
Şekil 2.6: Basınç kuvveti altında lifler (Malo, 2016).	16
Şekil 2.7: Ağaç malzemede kömürleşme oluşumu (İstek, Özlüsoylu, Çelik, ve Gönül, 2023).	20
Şekil 3.1: Kurtboğaz birleşim tekniği (Dolu, 2015).	28
Şekil 3.2: Karaboğaz birleşim tekniği (Dolu, 2015).	28
Şekil 3.3: Çalmaboğaz birleşim sistemi (Dolu, 2015).	29
Şekil 3.4: Geleneksel ahşap duvar tipleri kesitleri ve örnekleri (Demirrenk ve Erarslan, 2018).	32
Şekil 3.5: 5 katlı CLT plaka imalatı diagramı (Karacabeyli ve Gagnon, 2019).	36
Şekil 3.6: CLT üretim süreci (Karacabeyli ve Gagnon, 2019).	37
Şekil 3.7: DLT ahşap örneği (Sotayo vd., 2020).	40
Şekil 3.8: Asma kat projesi Çivilenmiş lamine kereste (NLT) (Web 1).	40
Şekil 3.9: Bağlantı elemanlarının CLT yapıda kullanım örnekleri (Stora Enso, 2017).	41
Şekil 3.10: Zımbalı Metal Levha uygulaması (Karadelis ve Brown, 2000)	44
Şekil 3.11: Bir CLT platform-çerçeve sisteminde bağlantı yapılabilecek noktalar: (i) duvar–temel bağlantısı, (ii) duvar–duvar bağlantısı, (iii) döşeme–döşeme bağlantısı, (iv) duvar–döşeme bağlantısı (Ringhofer et al., 2018).	45
Şekil 3.12: (a) Ankrajlı duvar–temel bağlantı; (b) Açılı bağlantı elemanları ve kısmi dişli kendinden kılavuzlu vidalar ile oluşturulan duvar–döşeme–duvar bağlantı; (c) Kısmi dişli kendinden kılavuzlu vidalarla sağlanan duvar– duvar kenar bağlantı; (d) Çift dişli kendinden kılavuzlu vidalarla oluşturulan duvar–duvar bağlantı hattı (Ringhofer et al., 2018).	46
Şekil 3.13: CLT Sistem ile Kurgulanmış Çok Katlı Yapı Örneği (Stora Enso, 2017).	48
Şekil 3.14: CLT Sistem ile inşa Edilen ‘Dalston Works’ Çok Katlı Yapı Örneği (Web 2).	49
Şekil 3.15: CLT Sistem ile inşa Edilen ‘Dalston Works’ Çok Katlı Yapı Şeması (Web 2).	50
Şekil 3.16: SIP Paneller ile Kurgulanmış Yapı Şeması (Kinch, 2017).	51
Şekil 3.17: Hafif Çerçeve Sistem (Benedetti, F., vd. 2022).	53
Şekil 3.18: Platform Sistem ve Baloon Sistem Karşılaştırması (Ahşap malzemeli konut teknolojisi, Yalın Yayıncılık, 2014).	54
Şekil 3.19: Post-and-Beam Sistem ile Kurgulanmış Çok Katlı Yapı Örneği (Stora Enso, 2017).	55
Şekil 3.20: Betonarme Çekirdek, GLT Kolon Kiriş ve CLT Panellerin Birlikte Kurgulandığı Hibrit Sistem (Stora Enso, 2017).	57
Şekil 5.1: Yapı zemin kat plan kurgusu.	80

Şekil 5.2: Yapı birinci kat plan kurgusu.	81
Şekil 5.3: Yapı ahşap karkas kurgusu: ana dikmeler, ara dikmeler, payandalar, ara hatıllar, döşeme kirişleri.	82
Şekil 5.4: Yapı ahşap karkas kurgusu: (A) ana dikmeler, (B) payandalar, (C) yastık kirişler (D) ara dikmeler, (E) ara hatıllar.	85
Şekil 5.5: Yapı ahşap karkas duvar elemanları ve çatı elemanları.	86
Şekil 5.6: Timbertech Software kullanılarak yapılan modelleme ve statik tasarım.	89
Şekil 5.7: Statik ve dinamik dayanımlar için kullanılan bağlantı elemanları: NNO100x100 ve WHT40.	90
Şekil 5.8: Geleneksel ahşap karkas sistem kesiti.	92
Şekil 5.9: “CLT Senaryo 1” ve “CLT Senaryo 2” sistem kesiti.	94
Şekil 5.10: Yapı zemin kat planı, metraj tablosu için duvar elemanı isimleri.	101
Şekil 5.11: Yapı birinci kat planı, metraj tablosu için duvar elemanı isimleri.	102
Şekil 5.12: Cephe derinliğini göstermek için CLT Opt1 ve CLT Opt2 duvar kesiti.	122



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Ağaçların yoğunluklara göre sınıflandırılması (Çalışkan, Meriç, ve Yüncüler, 2019).	9
Tablo 5.1: Deprem girdisi ve tasarım spektrumu parametreleri.	88
Tablo 5.2: Yapının maliyet hesabı için oluşturulmuş “Metraj Tablosu”.	104
Tablo 5.3: CLT imalatı genel hesap tablosu.	113
Tablo 5.4: Karkas Sistem İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması (Paralel Isı Akışı).	123
Tablo 5.5: CLT Opsiyon 1 İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması.	124
Tablo 5.6: CLT Opsiyon 2 İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması .	125

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Problemi

Türkiye’de ahşap hem geleneksel konut mirasının taşıyıcısı hem de güncel iklim ve deprem tartışmaları içinde yeniden gündeme gelen bir yapı malzemesidir. Buna karşın, 20. yüzyıl boyunca betonarme ve çelik lehine gerileyen kullanım eğilimi, ahşabın taşıyıcı malzeme olarak bilgi birikimini ve uygulama sürekliliğini zayıflatmıştır (Çalışkan vd., 2019).

Ahşap yapı sistemlerinin ekolojik, enerji ve deprem açılarından sahip olduğu avantajlar literatürde açık biçimde ortaya konmasına rağmen, bu potansiyelin hem mevcut tarihi ahşap yapı stoğunun korunmasında hem de rekonstrüksiyon uygulamalarında nasıl değerlendirileceği henüz yeterince netleşmemiştir. Öte yandan, ülkenin pek çok kentinde ve kırsal yerleşiminde geleneksel ahşap karkas konutlar, tescilli mimari mirasın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Lakot Alemdağ vd., 2023; Güler, 2025).

Bu yapıların bir kısmı ağır bozulmalar nedeniyle yıkılmakta ya da yerlerine betonarme yapılar inşa edilmektedir. Bu durum gerek özgün doku gerekse taşıyıcı sistem bilgisi açılarından geri dönüşü olmayan kayıplar yaratmaktadır (Lakot Alemdağ vd., 2023). Bu bağlamda, rekonstrüksiyon aşamasında korunacak tarihi ahşap yapının geleneksel sistem ile tekrarı yerine, modern endüstriyel malzemelerden biri olan çapraz lamine ahşap (CLT) ile tekrar inşa edilebilmesine karşı kararsızlıktır. Geleneksel karkas sistem, malzeme ve teknik sürekliliği sayesinde koruma kuramı açısından güçlü bir dayanak sunarken; usta gereksinimi, şantiye süresi ve işçilik yoğunluğu bakımından bazı kısıtlar barındırmaktadır (Çalışkan vd., 2019).

CLT ise, uluslararası literatürde endüstrileşmiş, hızlı ve öngörülebilir bir taşıyıcı sistem olarak tanımlanmakta; çok katlı, yeni tasarım binalar bağlamında çevresel ve yapısal performansı üzerine yoğun bir tartışma yürütülmektedir. Ancak bu tartışma, tarihi ahşap konutların rekonstrüksiyonunda “özgünlük”, “belgeleme”, “geri dönüşebilirlik” gibi koruma ilkeleri ile CLT’nin standartlaşmış panel mantığının nasıl uzlaştırılacağı sorusuna doğrudan yanıt üretmemektedir.

Bir diğerk sorun alanı, karar vericilerin ve tasarımcıların elinde, aynı tarihi yapının farklı taşıyıcı sistemlerle yeniden inşası için karşılaştırılabilir nicel veri setlerinin bulunmamasıdır. Türkiye’de geleneksel ahşap konutlar üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla tipoloji, malzeme–yapım tekniğı ve koruma–belgeleme ekseninde yoğunlaşmakta; enerji performansı gibi bazı teknik boyutlara ilişkin örnek çalışmalar bulunsa da (Alemdağ, 2023), geleneksel karkas ile CLT gibi modern bir panel sistemin aynı yapı üzerinde, metraj ve birim fiyat temelli ayrıntılı maliyet, şantiye süreci ve mimari sonuçlar bakımından sistematik biçimde karşılaştırıldığı uygulamalı araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu durum, tarihî yapı rekonstrüksiyonları için CLT’nin ne ölçüde uygun ve rasyonel bir seçenek olduğuna dair belirsizliğı artırmaktadır.

Dolayısıyla bu tezde ele alınan temel problem, İstanbul’da seçilen tarihî bir ahşap konağın rekonstrüksiyonu özelinde, geleneksel ahşap karkas sistem ile iki farklı CLT tabanlı sistemin; ilk yapım maliyeti, şantiye süreci ve mimari/koruma ilkeleri açısından görelî üstünlük ve sınırlılıklarının sayısal verilerle ortaya konmamış olmasıdır. Başka bir ifadeyle, karar vericiye “tarihi bir ahşap yapıyı hangi durumda geleneksel karkas, hangi durumda CLT ile yeniden inşa etmek daha rasyoneldir?” sorusuna dayanarak yol gösterebilecek, maliyet ve mimari sonuçları birlikte değerlendiren bütüncül bir çerçevenin eksikliğı, çalışmanın araştırma problemini oluşturmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tez, Türkiye’de büyük ölçüde kayba uğramış olan tarihî ahşap konut stoğunun yeniden inşasında, geleneksel ahşap karkas sistem ile modern CLT (çapraz lamine ahşap) tabanlı sistemlerin hangi koşullarda, nasıl bir mimari ve mali tablo ürettiğini somut veriler üzerinden ortaya koymayı amaçlamaktadır. Özellikle İstanbul’daki tarihî konak örnekleri, hem özgün malzeme ve zanaatkârlık bilgisini taşıyan hem de bugün deprem riski, yangın riski ve iklim krizi bağlamında yeniden ele alınması gereken bir yapı mirası sunmaktadır. Çalışmanın temel hedefi, bu mirasın rekonstrüksiyonunda geleneksel sistemde modern malzeme kullanılabilirliğini soyut ilkelere çok, ölçülebilir performans ve mimari sonuçlar üzerinden tartışılabilir hale getirmektir.

Bu genel çerçeve içinde tezin odağı, İstanbul’da seçilmiş tarihî bir ahşap konağın rekonstrüksiyonunu varsayan üç farklı taşıyıcı kurgu senaryosudur: özgün tekniğı

yaslanan geleneksel ahşap karkas, ısı yalıtımı ile desteklenmiş ve özgün kalınlığı koruyan CLT duvar kesiti (CLT Opt. 1) ve yalıtımsız, daha ince kesitli CLT duvar kurgusu (CLT Opt. 2). Çalışmanın amacı, bu üç senaryoda duvar ve döşeme sistemlerini aynı mimari şemayı koruyarak yeniden tanımlamak ve her birine ait metraj ve birim fiyat verilerini kullanarak ilk yapım maliyetlerini karşılaştırmak ve eşzamanlı olarak kesit kalınlığı, boşluk–doluluk oranları, cephe derinliği, iç mekân atmosferi ve zanaatkârlığın görünürlüğü gibi mimari çıktıları da sistematik biçimde tartışmaktır (Önge, 2020; Yüksek ve Çamlıbel, 2025).

Tezin bir diğer amacı, rekonstrüksiyon kararlarının yalnızca “m² başına toplam bedel” üzerinden verilmemesi gerektiğini gösterecek bütüncül bir değerlendirme çerçevesi önermektir. Bu kapsamda; taşıyıcı duvar ve döşeme kurgularının statik/dinamik davranış üzerindeki etkisinin, sistemlerin enerji performansı birlikte ele alınması; şantiye organizasyonu, işçilik yoğunluğu, montaj süresi, gürültü ve çevresel etkiler gibi yapım süreci bileşenlerinin görünür kılınması hedeflenmektedir. Böylece, geleneksel karkas ile CLT paneller arasında yapılan tercihlerin yalnızca teknik bir “malzeme seçimi” değil, aynı zamanda koruma ilkeleri, sürdürülebilirlik hedefleri ve yerel zanaatkârlığın sürekliliği açısından ne anlama geldiği sayısallaştırılmış ve kavramsallaştırılmış olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, tekil bir tarihî konak üzerinden üretilen üç senaryoyu kullanarak koruma kuramı, mühendislik verileri ve maliyet analizini ortak bir zeminde buluşturan bir karar destek çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Amaç, uygulayıcıların ve koruma kurullarının, rekonstrüksiyon süreçlerinde “geleneksel ahşap karkas” ile “CLT tabanlı sistemler” arasında yapacakları seçimleri; maliyet, yapım süreci, sürdürülebilirlik ve mimari özgünlük başlıkları altında daha şeffaf, karşılaştırılabilir ve tartışılabilir hale getirebilmektir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, temelde tek bir temsili yapı ve bu yapı için kurgulanan üç rekonstrüksiyon senaryosu üzerinden yürütülen karşılaştırmalı bir incelemedir. Kapsam, İstanbul’da geç Osmanlı konut geleneğini temsil eden, iki katlı tarihî bir ahşap konağın rekonstrüksiyonunu varsayan kurgu ile sınırlandırılmıştır. Çalışma, bu konağın plan şeması, kat sayısı, kat yükseklikleri, pencere–kapı açıklıkları, çatı biçimi ve temel

sistemi gibi ana mimari ve yapısal niteliklerini sabit kabul eder; değişken olarak yalnızca dış ve iç taşıyıcı duvarlar ile döşeme sistemini ele alır. Bu çerçevede, geleneksel ahşap karkas sistem ile CLT (çapraz lamine ahşap) panellerin aynı mimari kütle ve plan düzeni içinde nasıl farklı duvar/döşeme kalınlıkları, kesit kurguları ve kabuk davranışları ürettiği incelenmektedir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışma, tekil ama temsil gücü yüksek bir örnek yapı üzerinden kurgulanmış, senaryo tabanlı bir karşılaştırmalı durum çalışmasıdır. Yöntem, kabaca dört adımda ilerlemektedir: (i) tarihî ahşap konut mirası, geleneksel karkas sistemler ve modern mühendislik ahşapları üzerine literatür taraması ve örnek yapının belgelenmesi; (ii) seçilen konağın mimari ve taşıyıcı sisteminin sayısal ortamda yeniden modellenmesi ve üç farklı rekonstrüksiyon senaryosunun tanımlanması; (iii) her senaryo için statik/dinamik davranışın ve duvar–döşeme metrajlarının hesaplanması; (iv) elde edilen metrajların birim fiyatlarla ilişkilendirilmesi ve üç sistemin maliyet, şantiye süreci ve mimari/koruma ilkeleri bakımından karşılaştırılması.

İlk aşamada, Türkiye’deki geleneksel ahşap konut stoğunun nitelikleri, ahşabın malzeme özellikleri ve ahşap yapı sistemlerinin tarihsel gelişimi üzerine literatür taraması yapılmış; geleneksel ahşap karkas sistemlerin katmanlı duvar ve döşeme çözümleri ile modern CLT panel sistemlerinin taşıyıcı mantığı, benzer çalışmalardaki sınıflandırmalarla birlikte değerlendirilmiştir. Bu çerçeve, İstanbul’da seçilen tarihî ahşap konağın plan şeması, taşıyıcı aks sistemi, duvar kalınlıkları ve cephe oranlarının rölöve ve restorasyon projeleri ışığında yorumlanmasıyla somutlaşmıştır. Elde edilen bilgiler üç boyutlu bir mimari–taşıyıcı sistem modeli hâline getirilmiş; modelde temel, kırma çatı, pencere–kapı doğramaları ve iç mekân bitişleri gibi öğeler tüm senaryolar için sabit kabul edilerek, karşılaştırmının yalnızca duvar ve döşeme kabuğu üzerinde yoğunlaşması sağlanmıştır.

İkinci aşamada, aynı brüt dış ölçüleri, kat yüksekliklerini ve plan kurgusunu koruyan üç ayrı rekonstrüksiyon senaryosu tanımlanmıştır. Birinci senaryoda, özgün yapıım tekniğine uygun olarak ahşap karkas iskelet ve arası taş yünü dolgulu, iç–dış ahşap kaplamalı katmanlı bir duvar sistemi; ahşap kirişli döşemeler ve ahşap tavan kaplamaları esas alınmıştır. İkinci senaryoda, taşıyıcı kabuk hem duvarlarda hem

döşemede CLT panellerle çözülmüş; dış duvarlarda 26,5 cm'lik ısı yalıtımlı bir kesit kurgulanmıştır (CLT Opt-1). Üçüncü senaryoda ise, 120 mm CLT duvar ve 160 mm CLT döşemeden oluşan, ek ısı yalıtımı içermeyen daha ince bir kabuk kesiti (CLT Opt-2) tanımlanmıştır.

Üçüncü aşamada her senaryo için dış ve iç duvar alanları, döşeme alanları, panel kalınlıkları ve hacimleri gibi metraj verileri çıkarılmış; CLT senaryolarında panel hacimleri (m^3), geleneksel senaryoda ise katman bazında yüzey alanları (m^2) ve kısmen hacimler (m^3) hesaplanmıştır. CLT senaryolarının statik ve dinamik davranışı, TimberTech Buildings yazılımı kullanılarak, seçilen yük kombinasyonları ve ilgili yönetmelik hükümleri altında değerlendirilmiş; böylece panel kalınlıklarının ve bağlantı düzenlerinin taşıyıcı performans üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, her duvar ve döşeme kesiti için tabaka tabaka ısı geçiş katsayısı (U-değeri), literatürde verilen malzeme ısıl iletkenlik katsayıları kullanılarak hesaplanmış; böylece yalnızca maliyet değil, enerji göstergeleri de yöntemin parçası hâline getirilmiştir.

Dördüncü ve son aşamada, elde edilen metrajlar ilgili birim fiyatlarla çarpılarak maliyet tabloları oluşturulmuştur. Geleneksel senaryo için, Kültür ve Turizm Bakanlığı poz listesinde yer alan ahşap karkas duvar, ahşap kaplama, yalıtım, döşeme ve tavan imalatlarına ait pozlar kullanılmış; CLT senaryolarında ise ithal panel birim fiyatları, montaj, bağlantı elemanları, iskele ve vinç gibi kalemler eklenerek toplam duvar–döşeme maliyeti hesaplanmıştır. Son aşamada üç senaryo; toplam ve m^2 başına maliyet, maliyetin kalem bazlı dağılımı, duvar kalınlıklarının net kullanım alanına etkisi, ısıl performans, şantiye süreci ve mimari/koruma ilkeleri bakımından bir arada değerlendirilmiştir. Böylece yöntem hem nicel hem nitel göstergeleri birlikte okuyabilen bütüncül bir çerçeve sunmuştur.

2. AHŞAP VE ÖZELLİKLERİ

Ahşap malzeme, tarih boyunca inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmış yapı malzemelerinden biridir. Günümüzde çevre dostu, sürdürülebilir bir malzeme olarak yeniden değer kazanmıştır. Bu malzemenin doğallığı, estetik zarafeti ve yapısal özellikleri, malzemenin son zamanlarda popülerliğinin artmasındaki önemli etkenlerdendir. Ahşap, yalnızca fiziksel avantajlarıyla değil, aynı zamanda çevresel oluşuyla da öne çıkar. Doğal bir malzemedir. Doğal olarak yenilenebilir bir kaynaktır. Bu sebeple çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimuma indirerek, sürdürülebilir inşaat uygulamalarının vazgeçilmezi olmuştur. Günümüz mimarisinde, özellikle enerji verimliliği ve karbon ayak izi azaltma hedefleri doğrultusunda, ahşap yapılar daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır (Yüksek ve Çamlıbel, 2025).

Ahşap malzemenin önemli bir özelliği de estetik ve işlevsellik açılarından sağladığı esnekliktir. Geleneksel yapım sisteminden gelen yaygın bir malzemedir. Bununla birlikte modern inşaat sistemlerinde kendine yer bulmuştur. Son yıllarda gelişen mühendislik teknolojileri ve yeni üretilen ahşap malzemeler ile daha büyük yapılar ve taşıyıcı sistemler için uygun hale gelmiştir. Çapraz Lamine Ahşap (CLT) ve Yapıştırılmış Lamine Ahşap (GLT) gibi yeni nesil ürünler ahşabın yapısal performansını ve taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırmış, ahşap kullanımını yüksek katlı binalarda da uygulanabilir kılmıştır. Norveç'te inşa edilen The Tree yapısı bu yüksek yapıya en güzel örneklerden biridir. Ayrıca Londra Barbican'da yapılması için tasarlanan Oakwood Kulesi ahşap yapıların ne yükseklikte tasarlanabileceğini göz önüne sermiştir. Bu tür modern ahşap malzemeler, deprem dayanıklılığı ve yangın güvenliği gibi kritik faktörleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır (Gül ve Güzelçoban Mayuk, 2019).

Günümüzün hızla değişen yapı sektörü; ahşabın sağladığı sürdürülebilir mimari yaklaşımları, estetik avantajları ve çevresel faydaları göz önünde bulundurarak, ahşaba daha fazla değer verilmesi gerektiğini göstermiştir. Ahşap malzemenin çevre dostu, estetik ve dayanıklı olması, ona modern inşaat sistemlerinde de önemli bir yer kazandırmaktadır (Gül ve Güzelçoban Mayuk, 2019).

2.1. Ahşabın Yapısal Özellikleri

Ahşabın yapısal özellikleri, malzemenin doğrudan inşaat sektöründeki kullanımını ve performansını etkileyen kritik faktörlerdir. Ahşap doğası gereği lifli yapıdadır. Sağlam ve esnek bir malzeme olmasının sebebi de onun lifli yapısıdır. Bunun yanı sıra ahşabın yapısal performansı yoğunluğundan, nem içeriğine, elastikiyetine, dayanıklılığından ısı ve ses yalıtım özelliklerine kadar pek çok parametreye bağlıdır. Ahşabın doğal özelliklerinin anlaşılması onu inşaat sektöründe daha etkin bir şekilde kullanabilmek için hayati önem taşır. Bu nedenle, ahşabın fiziksel özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanması gerekir. Doğru tanımlama ve uygulanma malzemenin yapıdaki verimliliğini doğrudan etkileyen bir faktördür (Çalışkan vd., 2019).

Ahşap, esas olarak odun liflerinden oluşur. Bu lifler, ağacın dikey büyümesini sağlayan ve su ile besin maddelerini taşıyan uzun, ince ve içi boş tüpler şeklindedir. Bu tüplerin düzenlenişi, ahşabın dayanıklılığını ve esnekliğini belirler. Ahşap hücrelerinin yapısı oldukça heterojendir ve bu, ahşabın anizotropik (farklı yönlerde farklı özellikler gösteren) bir malzeme olmasına neden olur (Bozkurt, 1992).

Bir ağaç gövdesinin çap kesiti incelendiğinde, ağacın fiziksel yapısı, sırasıyla içten dışa doğru şu katmanlardan oluşur (**Şekil 2.1**):

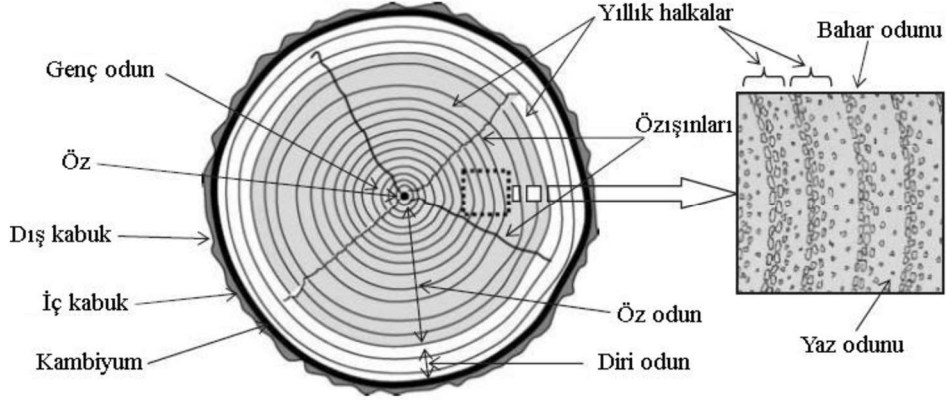
Öz (Odun): Ağaç gövdesinin en iç kısmı olan öz, ağacın merkez kısmını oluşturur. Öz, ağacın suyu ve besin maddelerini köklerden dallara ve yapraklara taşıyan hücreleri içerir.

Yıl Halkaları (Odun) ve Öz Işınları: Ağaç yıllık büyüme dönemlerinde, yeni bir doku (odun) üretir. Bu dokular zaman içinde sıkışarak halkalar şeklinde birbirine eklenir ve bu halkalardan her biri bir yılın büyümesini temsil eder.

Kambiyum: Kambiyum, ağacın kabuk ve öz kısmı arasında bulunan doku katmanıdır. Bu katman ağacın yıllık büyümesini ve genişlemesini sağlayan hücreleri üretir. Kambiyumun dış yüzeyine yakın olan hücreler dış kabuk dokusunu oluştururken, iç yüzeye yakın olan hücreler ise odun dokusunu (öz) üretir.

İç ve Dış Kabuk: İç kabuk ağacın ihtiyaç suyu ve besin maddelerini taşıyan kısımdır. Fakat bu kısım ölü hücrelerden oluşmaktadır. Dış kabuk ise ağacın dış çevreye karşı koruyucu işlev gören, su kaybını önleyen, dayanıklı olan katmanıdır.

Bu bağlamda “Ahşabın Yapısal Özellikleri” başlığa altında ahşabın yoğunluğu ve sertliği, nem içeriği ve higroskopik yapısı, termal ve akustik özelliği, estetik görünüm ve mimari kullanımı incelenecektir.



Şekil 2.1: Ağacın gövde kesiti (Aydın, 2019).

2.1.1. Ahşabın Yoğunluğu ve Sertliği

Ahşabın yoğunluğu, birim hacimde bulunan kütle miktarını ifade eden temel bir fiziksel özelliktir. Ahşabın yoğunluğu onun yapısal performansını belirlemede önemlidir. Yoğunluk ahşabın taşıma kapasitesini ve malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Ahşap, yüksek yoğunluğa sahip olduğunda daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olabilir. Bu durum ona dayanıklılık kazandırır. Ağaçlar arasında yoğunluk farklılıkları bulunmaktadır. Fakat genellikle iğne yapraklı ağaç türleri (çam, ladin gibi) daha düşük yoğunluğa sahipken, sert ağaç türleri (meşe, kayın gibi) daha yüksek yoğunluklara sahiptir (**Tablo 2.1**). Bu farklılıklar ahşabın yapı içerisinde ya da mobilya olarak kullanımında farklı avantajlar sağlamaktadır.

Yoğunluğun artmasıyla, ahşabın eğilme direnci, çekme dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinde de artış gözlenir. Ancak ahşabın yüksek yoğunluklu olması, aynı zamanda işlenmesi ve montajı sırasında daha fazla güç gereksinimi doğurur. Bu durum işçilik hesaplamalarında öne çıkan bir parametredir (Çalışkan vd., 2019).

Ahşap malzemenin ilk kesilmesinde ve sonrasında işlenmesine karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Sertlik malzemenin cinsine, nem oranına, yoğunluğuna bağlıdır. Malzemenin sertliği yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Nem oranı azaldıkça malzemenin

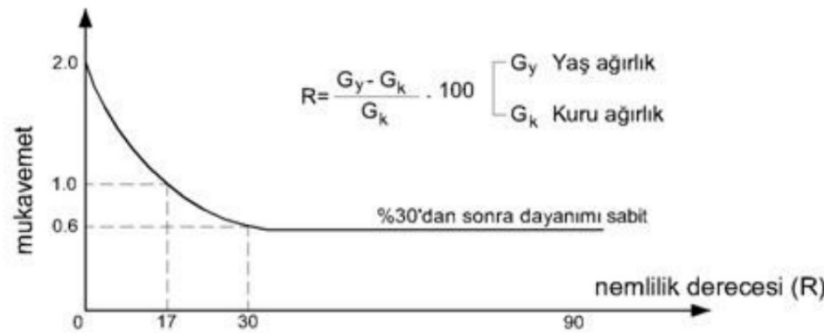
sertliği de artmaktadır. Kuru bir ağacın sertlik oranı en üst düzeydedir. Bu etmenler ahşabın kullanım alanının seçilmesinde önemli kriterlerdir (Çalışkan vd., 2019).

Tablo 2.1: Ağaçların yoğunluklara göre sınıflandırılması (Çalışkan vd., 2019).

SINIFI	ÖZGÜL AĞIRLIĞI (GR/CM ³)	AĞAÇ TÜRLERİ
ÇOK HAFİF AHŞAP	0.43 gr/cm ³ kadar olanlar	İhlamur, köknar, ladin, ardıç çamı, kavak, balsa
HAFİF AHŞAP	0.44-0.72 gr/cm ³ olanlar	At Kestanesi, Kırmızı Çam, Kırmızı Gürgen, Akçaağaç, Huş, Kestane, Kızılağaç, Söğüt, Sedir, Melez Çam
AĞIR AHŞAP	0.73-0.99 gr/cm ³ olanlar	Çınar, Tik, Ceviz, Karaağaç, Dişbudak
ÇOK AĞIR AHŞAP	1 gr/cm ³ 'den fazla olanlar	Ak gürgen, Zeytin, Meşe, Akasya, Elma, Armut, Karaçam, Maun, Pelesenk, Kiraz, Erik, Porsuk Ağacı, Abanoz, Pock Ağacı, Şimşir, Gül ağacı

2.1.2. Ahşabın Nem İçeriği ve Higroskopik Yapısı

Ahşabın yapısal özellikleri, çevresel faktörlerden, özellikle nem ve sıcaklıktan büyük ölçüde etkilenir. Higroskopik terimi, bir maddenin nemi havadan çekme eğilimini ifade eden bir terimdir. Ahşap, higroskopik bir malzeme olup, çevresindeki nemi absorbe edebilir veya salabilir. Bu özellik, ahşabın zamanla boyut değiştirerek daralmasına veya genişlemesine neden olabilir.



Şekil 2.2: Mukavemet – Nemlilik derecesi ilişkisi (Görgün ve Ünsal, 2023).

Nem içeriği, yapısal ahşabın dayanıklılığını doğrudan etkiler. Ahşap malzemenin %12 ila %20 arasında bir nem içeriğine sahip olması istenir. Bu seviyedeki nem, ahşabın şekil değişimlerine karşı dirençli olmasını sağlar ve mekanik özelliklerini korur. Nem oranı arttıkça bir malzemenin mukavemeti ve taşıyıcılığı da azalacaktır. Nem oranında %30 sabit olarak kabul edilir. Nem oranı %30'u geçtiğinde mukavemette değişiklik

gözlemlenmemektedir (**Şekil 2.2**). Yüksek nem içeriği, ahşabın şişmesine ve bükülmesine yol açarken, düşük nem içeriği ise çatlamaya neden olmaktadır. Ahşap malzemenin kuruması renk değişimi ile de gözlemlenmektedir.

Bununla birlikte, ahşabın sıcaklığa karşı gösterdiği davranış da önemlidir. Ahşap malzeme, yüksek sıcaklık altında genleşme eğilimindedir, ancak bu genleşme farklı yönlerde değişir. Ahşap, ısı genleşme açısından ortotropik bir malzemedir. Bu sebeple sıcaklık değişimlerine karşı her yönde farklı bir tepki verir. Bu özellik kullanım alanına göre dikkate alınmalıdır. Sıcaklık ve nem koşullarının değişmesi, boyutlarda değişikliklere yol açar ve bu durum özellikle büyük yapılar için kritik bir faktördür (Görgün ve Ünsal, 2023).

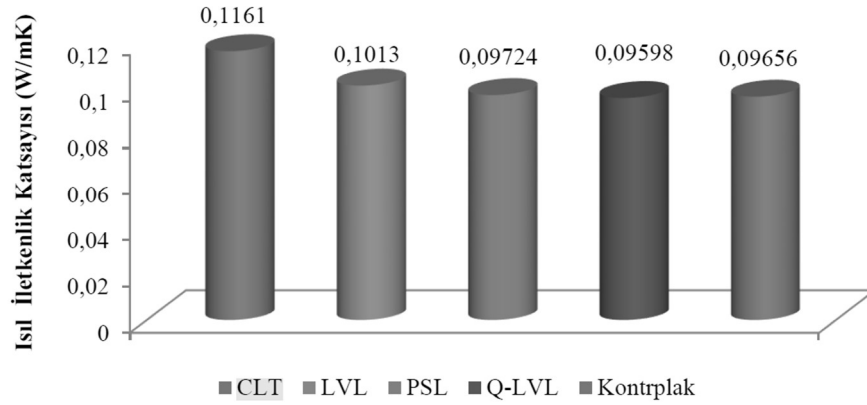
2.1.3. Ahşabın Termal ve Akustik Özellikleri

Ahşap, yüksek termal izolasyon kapasitesine sahip bir malzemedir. Düşük ısı iletkenliği, özellikle iç mekanlarda ısı yalıtımı sağlamak için avantajlıdır. Ahşap malzeme doğal olarak iç mekanların daha konforlu hale gelmesini sağlar. Bunun yanı sıra ses yalıtımı konusunda da oldukça etkilidir. Özellikle düşük frekanslı sesleri emerek, ses yalıtımında önemli bir rol oynar.

Ahşabın doğal hali gözenekli bir yapıdadır. İçerisindeki hava dolu mikro boşluklar barındırması sayesinde ısı iletimini doğal olarak sınırlar. Bu yapısal özellik ahşabı termal iletkenliği düşük bir malzeme hâline getirir. Bununla birlikte modern mühendislik teknikleriyle üretilen CLT (Cross Laminated Timber), LVL (Laminated Veneer Lumber), PSL (Parallel Strand Lumber) ve Kerto-Q gibi yapısal ürünler bu doğal avantajı daha ileri seviyeye taşımaktadır. Özellikle Kerto-Q ve kontrplak gibi lif yönelimi açısından daha karmaşık tabakalı yapılar liflere dik doğrultuda yerleştirilmiş katmanlar sayesinde ısı iletimine karşı daha dirençli bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapıların lif yönünü kesen dizilimleri ısının lif boyunca serbestçe iletilmesini önleyerek termal iletkenliği azaltmaktadır (Öztürk vd., 2022).

Araştırmalar, farklı yapısal ahşap ürünlerin ısı iletkenliği bakımından anlamlı ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. CLT, LVL, PSL ve Kerto-Q arasındaki bir karşılaştırmada en düşük ısı iletkenlik değerleri Kerto-Q-LVL (0,09598) ve kontrplak (0,09656) ürünlerde gözlemlenmiştir. CLT levhaların (0,1161) ise en yüksek iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür (**Şekil 2.3**). Bu farklılıklar üretim yöntemi, lif

yönelimi, bağlayıcı reçine türü ve malzemenin nem oranı gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Özellikle liflerin yönlendirilme biçimi ısı iletiminin en kritik belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Lif yönüne paralel olarak düzenlenmiş tabakalarda ısı iletimi artarken, lif yönünü kesen tabakalarda bu iletim sınırlanmaktadır (Şekil 2.3) (Öztürk vd., 2022).



Şekil 2.3: Yapısal ahşap ürünlerin ısı iletkenlik katsayısı değişimleri (Öztürk vd., 2022).

Ahşap malzemenin nem içeriği ısı iletkenliğini doğrudan etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Yüksek nem oranı hücre duvarlarındaki su birikimini artırır. Bu durum malzemenin yoğunluğunu yükseltmekte ve ısı geçişini kolaylaştırmaktadır. Nitekim CLT üretiminde kullanılan ladin kerestelerin hava kurusu hâlde, diğer ürünlerden daha yüksek nem içerdiği ve bu nedenle ısı iletkenliklerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Literatürde de belirtildiği üzere, nem oranı, sıcaklık ve yoğunluk arttıkça ısı iletkenlik değeri yükselmektedir (Öztürk vd., 2022).

Ahşap yapı ürünlerinin termal performansına etki eden faktörler arasında, üretim sürecinde tercih edilen yapıştırıcı türü de önemli bir değişken olarak kabul edilmektedir. Öztürk, Birinci ve Demirkır (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çapraz lamine ahşap (CLT) panellerin üretiminde poliüretan esaslı yapıştırıcılar kullanılırken, diğer bazı kompozit ürünlerde fenol-formaldehit bazlı reçinelerin tercih edildiği aktarılmıştır. Bu reçinelerin kimyasal yapıları ve ısı iletkenlikleri, katmanlar arası ısı iletkenliğini doğrudan etkilemektedir. Özellikle içeriğinde dolgu maddesi bulunan reçinelerin, katmanlar arasında daha yüksek bir termal direnç oluşturduğu ve bu durumun ısı yalıtım performansını artırıcı etki bulunduğu vurgulanmaktadır (Öztürk vd., 2022).

Ahşabın özellikleri ve gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda yapısal ahşap ürünleri genel olarak enerji verimliliği yüksek bir malzeme sayılır. Çevresel etkisi düşük, estetik ve doğal bir yalıtım malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Ahşabın düşük ısı iletkenliği özellikle soğuk iklim bölgelerinde yapı kabuğunun yalıtım kapasitesine katkı sunmakta, yoğunlaşma riskini azaltmakta ve iç mekân konforunu artırmaktadır.

2.1.4 Ahşabın Estetik Görünüm ve Mimari Kullanımı

Ahşap, doğal yapısından gelen desenleri ve renk çeşitliliği ile estetik açıdan oldukça değerli bir malzemedir. Ahşabın doğal desenleri, dokusu ve rengi, her bir yapının benzersiz olmasını sağlar. Her ağaç türü, kendine özgü görsel ve estetik özellikleri bulunmaktadır. Her ağacın kendisine özgü doğal desenlere ve renk tonları bulunmaktadır. Bu da yapıların benzersiz olmasını sağlar. Ahşabın estetik görünümü hem modern hem de geleneksel tasarımlar için uygundur. Bu sebeple mimarlar tarafından sıkça tercih edilir. Ahşabın duruşu, doğal desenleri, renk tonları iç mekanlara özgünlük ve doğallık katmak için önemli bir avantajdır. Ahşap, sıcak bir atmosfer yaratarak iç mekanlara estetik değer katar.

Ahşabın patinası, malzemenin zamanla kazandığı doğal yaşanmışlık ve eskilik görüntüsüdür. Malzemede zamanla oluşan renk değişimleri, yüzeyde aşınmalar, güneşte solmalar gibi etmenler patinanın bir parçasıdır. Malzemenin zamanla doğal bir şekilde patina olması gibi yapay yollarla da (yeni ahşap yüzeylere zımpara, özel boyalar, eskitme teknikleri ve kimyasallarla eski görünüm verme) estetik bir görünüm elde edilebilmektedir. Bu durum yapının estetik ömrünü uzatır ve ona tarihi bir dokunuş katar. Ahşap, iç mekanları sıcak ve davetkar kılar, estetik olarak mimarların tercih ettiği malzemelerden biri olmasını sağlar. Ayrıca, doğal desenler ve dokular, her bir yapının kendine özgü bir kimlik kazanmasını sağlar (Çalışkan vd., 2019).

2.2. Ahşabın Mekanik Özellikleri

Ahşap, yapı malzemesi olarak insanoğlunun barınma ihtiyacında ilk kullandığı malzemeler arasındadır. Geleneksel inşaatta kendine yer bulduğu gibi modern mimaride de yapısal avantajlarını ve estetiğini göstermektedir. Ahşabın mekanik özellikleri yapısal performansını doğrudan etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu

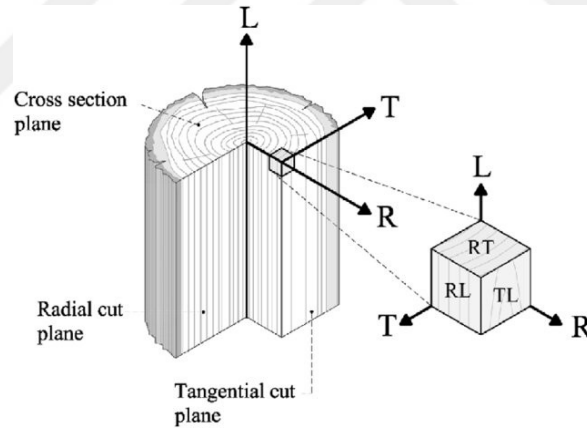
özellikler, ahşabın taşıma kapasitesini, dayanıklılığını, esnekliğini ve ömrünü belirler (Çalışkan vd., 2019).

Ahşap, homojen olmayan, ortotropik bir malzemedir (**Şekil 2.4**). Ortotropri malzemenin üç farklı yönde fiziksel ve mekanik özellik göstermesini ifade eder. Ahşap doğal bir malzeme olduğu için yapısı ve hareketleri her yönde aynı değildir.

1-Lif yönü (Boyuna- Longitudinal): Ağacın gövdesi boyunca uzandığı yöndür. Liflerin yöneliminden dolayı en güçlü yön olarak bu yöndür.

2-Tangentiye (Yanal – Tangential): Ağacın halkalarına teğet olan şişme ve büzülmenin görüldüğü kısımdır.

3-Radyal Yön (İşınsal – Radial): Ağacın merkezinden dışa doğru giden yöndür. Tangentiye'den daha kararlı bir yöndür fakat boyuna olan yönden daha zayıf kabul edilir (**Şekil 2.4**). Bu özellikler, ahşabın farklı kullanım alanlarında nasıl performans göstereceğini anlamada kritik rol oynar. Taşıyıcı olarak kullanılacak ahşap bu yönler dikkate alınarak seçilmelidir (Hiziroğlu, 2016).



Şekil 2.4: Ahşaptaki Ortotropik Yönler ve Düzlemler (Gómez-Royuela et al., 2022).

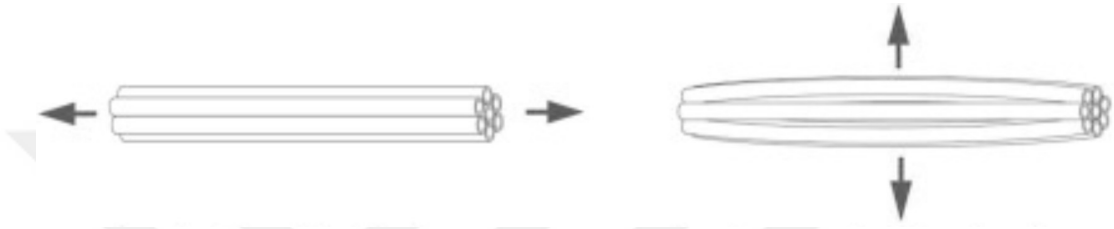
Bu bağlamda “Ahşabın Mekanik Özellikleri” başlığa altında ahşabın çekme dayanımı, basınç dayanımı, eğilme ve bükülme dayanımı incelenecektir.

2.2.1. Ahşabın Çekme Dayanımı

Ahşap malzemenin çekme dayanımı, liflere paralel yönde oldukça yüksek iken, dik yönde (teğet veya radyal yönler) bu dayanım çok daha düşüktür. Bu yön, yani boyuna (longitudinal) eksen, hücrelerin hizalandığı, yani doğal taşıyıcı liflerinin bulunduğu

eksendir. Liflere paralel çekme dayanımı çoğu ağaç türünde basınç dayanımından daha yüksek olur. Bu durum lif yapısının iç içe geçmiş uzun zincirli hücre duvarlarının çekme kuvvetini taşıyacak şekilde düzenlenmiş olmasından kaynaklanır.

Buna karşılık, liflere dik (radial ve tangential) yönlerdeki çekme dayanımı oldukça düşüktür. Zira bu yönlerde lifleri bir arada tutan yapışkan benzeri lignin zayıf bir bağlayıcıdır ve bu zayıflık liflerin ayrılmasına sebep olabilir. Bu yüzden yapısal uygulamalarda lif yönüyle uyumlu tasarım, çekme kuvvetlerinin yönüyle doğrudan ilişkilidir (**Şekil 2.5**) (Hiziroglu, 2016).



Şekil 2.5: Çekme kuvveti altındaki lifler (Malo, 2016).

Ahşap malzemede çekme dayanımının artması, genellikle yoğunluk ile doğru orantılıdır. Yoğunluğu artan ahşap, daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla yoğunluğu yüksek ahşap malzemede çekme dayanımının da artması beklenir. Bununla birlikte nem oranı arttıkça ahşabın çekme dayanımı da azalır. Çünkü nem, ahşabın lif yapısındaki bağları zayıflatır ve malzemenin elastikiyetini düşürür (Görgün ve Ünsal, 2023).

Ahşabın çekme davranışı aynı zamanda onun elastik karakteriyle de doğrudan ilişkilidir. Gerilme altında belli bir noktaya kadar uzayabilir ve ardından eski hâline döner. Ancak bu sınır aşıldığında, liflerde mikro düzeyde yırtılmalar oluşmaya başlar. Bu da malzemenin geri dönüşsüz şekilde zayıflamasına neden olur. Viskoelastik özellikler nedeniyle, çekme altında uzun süre bırakılan bir ahşap parça zamanla şekil değiştirebilir. Bu yüzden süreklilik gösteren çekme yükleri altında kullanılacak parçalar, daha yüksek güvenlik katsayılarıyla boyutlandırılmalıdır. Bu durum tasarım yapılırken göz önüne alınması gereken bir durumdur (Gómez-Royuela et al., 2022).

Günümüzde, özellikle tahribatsız test yöntemlerinin gelişmesiyle, ahşabın çekme özellikleri daha hızlı ve güvenilir şekilde öngörülebilmektedir. Akustik ölçümlerle lif yönündeki ses hızı, elastikiyet modülü ile ilişkilendirilir ve bu sayede malzemenin

çekme davranışı tahmin edilebilir. Bu teknikler özellikle seri üretimde ve kalite kontrol süreçlerinde büyük kolaylık sağlamaktadır (Legg and Bradley, 2016).

2.2.2. Ahşabın Basınç Dayanımı

Ahşabın basınç dayanımı özellikle liflere paralel yönde çok daha yüksektir. Liflere paralel yönde kuvvet uygulandığında ahşap, ezilmeye karşı oldukça dirençlidir. Ahşabın bu mekanik özelliği onu özellikle taşıyıcı elemanlarda kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarında kullanılabilir hale getirir. Yoğunluğu yüksek olan ahşap daha yüksek basınç dayanımına sahip olur. Bu özellik, büyük açıklıkların geçilebilmesi için büyük bir avantaj sağlar (Hiziroglu, 2016).

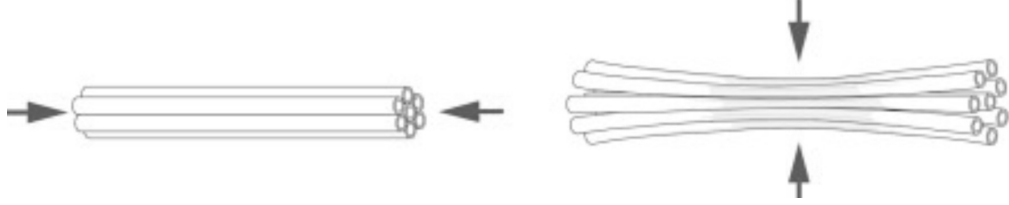
Ahşabın basınç dayanımını etkileyen bir diğer önemli faktör ise nem oranıdır. Nem oranı arttıkça ahşabın lifleri arasındaki bağlar zayıflar ve bu da ahşabın basınç dayanımını olumsuz yönde etkiler. İdeal nem oranının altındaki nem oranları malzemenin kırılma olmasına yol açabilir. Bu nedenle, ahşabın dayanıklı bir malzeme olarak kullanılabilmesi için, kurutma işlemleri ve korunması kritik öneme sahiptir (Görgün ve Ünsal, 2023).

Bükülme dayanımı, ahşabın yapısal elemanlarda karşılaştığı eğilme kuvvetlerine karşı gösterdiği dirençtir. Paralel yönde (longitudinal) uygulanan basınçta, ahşap lifleri bir sütun gibi davranır. Özellikle doğru kurutulmuş ve yoğunlaştırılmış ahşap, daha yüksek bükülme dayanımına sahip olur. Ahşabın bükülme dayanımını artıran modern mühendislik ürünleri, ahşabın bu özelliğini daha da güçlendirerek, yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını artırmaktadır.

Buna karşılık, liflere dik yönde (radial ya da tangential) uygulanan basınç kuvveti, ahşabın zayıf yönlerinden birine yöneltilmiş olur (**Şekil 2.6**). Bu durumda hücreler yandan sıkışarak ezilir, çünkü aralarındaki bağlar bu tür kuvvetlere direnç gösterecek şekilde tasarlanmamıştır. Sonuç olarak malzeme daha kolay deformasyona uğrar. Bu nedenle yatayda geniş yüzeyli yük alan döşeme kaplamaları veya duvar sistemlerinde lif yönü daima dikkate alınmalıdır.

Modern mühendislik uygulamalarında ise ahşabın basınç dayanımı doğrudan deneysel yöntemlerle ölçülmesinin yanı sıra, elastikiyet modülü (MOE) ve yoğunluk gibi dolaylı ölçümlerle de tahmin edilebilir. Özellikle akustik test teknikleri, lif yönünde

dalga yayılım hızını ölçerek malzemenin iç yapısı hakkında bilgi verir. Bu tür tahribatsız yöntemler, yapı elemanlarının sahada veya üretim hattında hızlı ve güvenilir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılar.



Şekil 2.6: Basınç kuvveti altında lifler (Malo, 2016).

Ahşabın doğal heterojen yapısı, yani her türün ve hatta her ağacın içinde dahi değişkenlik gösteren lif yönleri, yoğunlukları ve kusurları, basınç dayanımını doğrudan etkiler. Örneğin budak, lif sapmaları veya reçine cepleri gibi doğal düzensizlikler, yük altında zayıf noktalar oluşturabilir. Bu yüzden ahşap tasarımında yalnızca nominal değerler değil, bu tür kusurların etkileri de hesaplamalara katılır (Hiziroglu, 2016; Legg and Bradley, 2016).

2.2.3. Ahşabın Eğilme ve Bükülme Dayanımı

Ahşabın eğilme dayanımı, yapısal ahşap elemanlarında sıkça karşılaşılan bir parametre olup, ahşabın bir noktasına uygulanan moment ile bu noktadaki deformasyonu tanımlar.

Eğilme dayanımı, bir yapı malzemesinin hem basınç hem de çekme kuvvetine aynı anda maruz kaldığı, yani iki farklı yönden zorlandığı özel bir durumdur. Ahşap için bu özellik özellikle kirişler döşemeler ve mertekler gibi taşıyıcı elemanlarda dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Çünkü eğilme altında kalan bir ahşap parça, üst liflerinde basınç, alt liflerinde ise çekme gerilmesi yaşar. Bu çift yönlü gerilime karşı malzemenin ne ölçüde dayanabildiği, onun eğilme dayanımını belirler.

Ahşap, özellikle liflere paralel yönde oldukça yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Bu, ahşabın uzun kirişler ve kolonlar gibi elemanlarda eğilmeye karşı dayanıklı olduğunu gösterir. Eğilme dayanımı, ahşabın yoğunluğu ve nem içeriği ile doğrudan ilişkilidir. Yoğunluğu yüksek olan ahşaplar, genellikle daha yüksek eğilme dayanımına sahip olur (Legg and Bradley, 2016).

Ahşabın bükülme dayanımı, büyük açıklıkları geçen taşıyıcı elemanlar için oldukça önemlidir. Ahşabın bükülme dayanımını artırmak için modern mühendislik sistemleri, CLT ve GLT gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler, ahşabın doğal özelliklerinden faydalanarak daha dayanıklı ve esnek yapı elemanları üretir. Bu tür ürünler, büyük açıklıkları güvenli bir şekilde geçebilir ve depreme karşı dayanıklılık sağlar.

Ahşap, liflerine paralel yönde yüksek dayanım gösterdiği için, eğilme dayanımı da büyük ölçüde liflerin doğruluğuna, kesintisizliğine ve düzgünlüğüne bağlıdır. Lif yapısı ne kadar düzenli, kesintisiz ve budaksızsa eğilme altındaki performans da o kadar yüksektir. Ancak liflerdeki bozulmalar, eğrilikler ya da budak gibi doğal kusurlar, özellikle çekme bölgesinde ani kırılmalara yol açabilir. Çünkü ahşap eğilme altındayken çekme bölgesi daha kırılğan davranır (Legg and Bradley, 2016).

Eğilme dayanımı genellikle Modulus of Rupture (MOR) adı verilen bir değerle ifade edilir. MOR, bir ahşap elemanın kırılmadan önce dayanabileceği maksimum eğilme gerilmesidir. Bu değer, doğrudan taşıma kapasitesiyle ilişkilidir. Hesaplamalarda malzemenin sınır değerini gösterir. Eğilme deneyi sonucunda aynı zamanda Modulus of Elasticity (MOE) yani elastikiyet modülü de belirlenebilir. Bu ise malzemenin esnekliğini, yani bir yük altında ne kadar eğilip tekrar eski hâline dönebileceğini gösterir (Hiziroglu, 2016).

Ahşabın eğilme altındaki davranışı yalnızca yapısal değil, aynı zamanda estetik kullanımlarda da belirleyicidir. Örneğin kavisli mobilya parçaları, kemerler ya da lamine ahşap elemanlar, eğilme özelliklerinin iyi bilinmesiyle tasarlanır. Bu uygulamalarda ahşabın esnekliği kadar, elastik şekil değiştirme sınırı da göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.4. Ahşabın Elastikiyet Modülü ve Deformasyon Özellikleri

Ahşabın elastikiyet modülü, malzemenin birim deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır ve ahşabın rijitliğini belirleyen temel mekanik parametrelerden biridir. Lif yönünde uygulanan gerilmelere karşı, malzemenin ne kadar esneyip eski formuna dönebildiğini gösterir. Elastikiyet modülü yüksek olan ahşap türleri, daha az şekil değiştirir ve taşıyıcı sistemlerde daha stabil performans sergiler.

Elastikiyet modülü yüksek ahşap malzeme daha fazla yük altında daha az deformasyona uğrar. Bu nedenle, yüksek elastikiyet modülüne sahip ahşaplar daha verimli ve dayanıklı yapı elemanları üretmek için tercih edilir.

Elastikiyet modülü, bir malzemenin rijitliğini yani sertliğini belirtir. MOE değeri ne kadar yüksekse, malzeme yük altında o kadar az şekil değiştirir; yani daha "sert" davranır. Düşük MOE ise daha esnek, daha kolay eğilebilen bir karakteri gösterir. Ahşapta bu değer, özellikle liflere paralel yönde yapılan ölçümlerde anlam kazanır çünkü bu yönde hem yük aktarımı hem de yapısal davranış daha belirgindir (Hiziroglu, 2016).

Elastikiyet modülü doğrudan gerilme-gerinim eğrisi üzerinden hesaplanır. Malzemeye uygulanan gerilme ile malzemenin boyundaki uzama arasında, yük sınırlı olduğu sürece doğrusal bir ilişki kurulur. Bu doğrusal bölge malzemenin elastik davranış bölgesidir. Yani ahşap, bu sınırın içinde kaldığı sürece eski hâline dönebilir. Ancak sınır aşıldığında, kalıcı deformasyon başlar ve bu noktada elastikiyet sınırı aşılmış olur. Ahşapta bu sınır, metal gibi malzemelere göre daha belirsizdir çünkü ahşap bir viskoelastik malzemedir. Yani yalnızca elastik değil, aynı zamanda zamanla şekil değiştirebilen bir yapıya sahiptir. Üzerine uzun süre yük uygulandığında, anında tepki vermekle kalmaz; zaman içinde yavaşça şekil değiştirir. Bu davranışa sünme (creep) denir. Örneğin bir kitap rafının zamanla eğilmesi ya da bir kirişin yıllar içinde hafifçe sarkması, bu özelliğin sonucudur (Hiziroglu, 2016; Legg and Bradley, 2016).

Günümüzde MOE değerleri yalnızca laboratuvarında değil; sahada, üretim hattında, hatta ormanda bile ölçülebilir. Akustik hız ölçümleriyle, dalganın ahşap içinde yayılma hızı izlenir ve buradan MOE değeri hesaplanabilir. Bu tür teknolojiler, kalite kontrolün yanı sıra, genç ağaçların seleksiyonunda ve kereste sınıflandırmasında da kritik bir rol oynamaktadır.

2.3. Ahşabın Depreme Karşı Direnci

Ahşabın en önemli yapısal avantajlarından biri esnekliğidir. Ahşap, hafifliği ve elastikiyet modülünün düşüklüğü sayesinde ve deprem sırasında meydana gelen yanal kuvvetlere karşı oldukça dayanıklıdır. Bu esneklik ahşabın sismik enerji emme kapasitesini artırır. Dolayısıyla yapısal hasar riskini azaltır. Ahşabın bu özelliği, büyük yer değiştirmelere ve depremler sırasında oluşan gerilimlere karşı malzemenin daha az

zarar görmesini sağlar. Ahşap, lifli yapısı sayesinde deprem sırasında meydana gelen titreşimleri emerek, yapının daha stabil kalmasını sağlar (Çalışkan vd., 2019).

Deprem sırasında ahşap yapıların performansı, kullanılan ahşap türüne ve inşaat yöntemlerine bağlı olarak değişir. Modern ahşap teknolojileri, özellikle CLT (Çapraz Lamine Ahşap) ve GLULAM (Yapıştırılmış Lamine Ahşap) gibi ürünler, ahşabın performansını daha da güçlendirmektedir. Bu tür mühendislik ürünleri, geleneksel ahşaba göre daha büyük taşıma kapasitesine ve daha iyi sismik performansa sahip olup, büyük açıklıkların ve yüksek binaların inşasında kullanılmaktadır (Yüksek ve Çamlıbel, 2025).

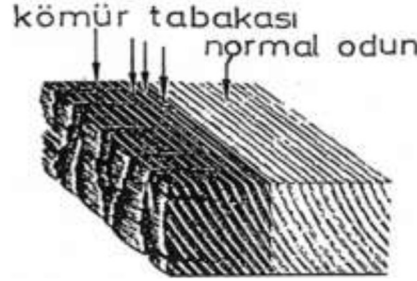
Ahşap yapıların deprem performansını artırmak için çeşitli mühendislik ve tasarım çözümleri kullanılmaktadır. Örneğin ahşap yapılar doğru bağlayıcı elemanlarla güçlendirilebilir. Çelik, beton veya cam gibi malzemelerle hibrit sistemler oluşturarak ahşabın deprem performansı artırılabilir. Ayrıca modern inşaat tekniklerinde kullanılan çapraz bağlantı sistemleri ahşap yapıların deprem sırasında daha iyi performans sergilemesini sağlar. Bu sistemler yapının rijitliğini azaltarak sismik yükleri daha verimli bir şekilde dağıtır ve deprem sırasında yapının esnekliğini artırır.

2.4. Ahşabın Yangına Karşı Direnci

Ahşap, genel kanının aksine yangına karşı tamamen dayanıksız bir malzeme değildir. Doğal yapısı gereği, yangın esnasında farklı bir tepki mekanizması sergileyerek belirli ölçüde koruyucu davranış gösterebilmektedir. Ahşap malzemeler, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında yüzeylerinde oluşan kömürleşme tabakası sayesinde iç kısımlarını izole eder ve yapısal bütünlüklerini belirli bir süre boyunca muhafaza ederler. Bu kömürleşme katmanı, ısı iletkenliğini azaltarak yangının ahşabın derinliklerine ilerlemesini yavaşlatır ve taşıyıcı sistem elemanlarının ani mukavemet kayıplarını engeller. Ayrıca, günümüzde geliştirilen modern mühendislik ahşapları ile yangın geciktirici kimyasal uygulamalar, ahşap yapı elemanlarının yangın performansını artırmakta ve güvenli kullanım süresini uzatmaktadır. Dolayısıyla, uygun tasarım ve koruyucu tedbirler eşliğinde ahşap, yangına karşı dayanıklı yapı malzemeleri arasında değerlendirilebilmektedir.

Ahşabın yangın dayanıklılığı özellikle yüzeyde oluşan kömürleşme katmanına bağlıdır. Yangın sırasında ahşap dış yüzeyinde bir kömürleşme tabakası oluşturur. Bu

tabaka odunun oksijen ile bağlantısını keserek yangının, ahşabın iç kısmına ulaşmasını engeller ve malzemenin yapısal bütünlüğünü bir süre korur (Şekil 2.7). Bu doğal koruma mekanizması ahşabın yangın sırasında çok hızlı bir şekilde yok olmasını engeller ve zaman kazandırır.



Şekil 2.7: Ağaç malzemede kömürleşme oluşumu (İstek vd., 2023).

Ahşabın yangına dayanıklılığı aynı zamanda malzemenin yoğunluğuna ve türüne göre de değişir. Yoğunluğu yüksek olan ahşap türleri, genellikle yangına karşı daha dayanıklıdır. Sert ağaç türleri, iğne yapraklı ağaç türlerine göre yangına daha dirençli olabilir. Ancak, bu direnç her ağaç türü için farklılık gösterir. Ahşabın doğru şekilde işlenmesi ve korunması, yangına karşı dayanıklılığını artırabilir (İstek vd., 2023).

Ahşabın yangın dayanımını artırmak için çeşitli yangın geciktirici tedbirler uygulanabilir. Ahşap, kendi başına yangına karşı oldukça dayanıklı bir malzeme olmasına rağmen, özel yangın geciktirici kimyasal işlemlerle bu dayanıklılık artırılabilir. Bu tedbirler arasında ahşap yüzeylerine yangın geciktirici solüsyonlar uygulanması ve ahşabın içine yangın geciktirici maddeler enjekte edilmesi gibi çözümler bulunur.

Ayrıca yangın geciktirici kaplamalar ve yüzey işlemleri, ahşabın yangına dayanıklılığını artırmak için kullanılmaktadır. Bu kaplamalar ahşabın yüzeyini koruyarak yangının derinlere inmesini engeller (İstek vd., 2023).

Ahşabın yangına karşı performansı çeşitli yangın testleri ile değerlendirilir. Bu testler, ahşap malzemenin yangın sırasında nasıl davrandığını, ne kadar süre dayanabileceğini ve hangi sıcaklıklara kadar dayanabildiğini tespit eder. Ahşabın yangın dayanımı genellikle saat cinsinden ölçülür. Ahşap malzemenin yangına dayanıklılığı malzemenin kesit alanı, yoğunluğu ve nem oranı gibi faktörlere bağlıdır.

Yangın testleri için farklı süreçler vardır. Bu testler malzemenin ısı genleşme özelliklerini ve yangına karşı oluşturduğu kömürleşme katmanını değerlendirmeyi

amaçlar. Ayrıca, yangın testleri sırasında ahşap malzemenin dayanımını artıran yangın geciktirici maddeler de kullanılabilir. Bu maddeler, yangın sırasında malzemenin hızla bozulmasını engeller ve yapının daha uzun süre dayanmasını sağlar (İstek vd., 2023).

2.5. Ahşabın Çevresel ve Sürdürülebilirlik Özellikleri

Ahşap, doğada kolayca yenilenebilen, çevre dostu bir malzeme kabul edilir. Çevresel sürdürülebilirlik açısından, özellikle karbon ayak izini azaltma hedefleri doğrultusunda ahşap malzeme, son derece değerli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Ahşabın sahip olduğu özellikler bu malzemenin ekolojik faydalarını pekiştirmekte ve onu modern yapılar için ideal bir seçenek haline getirmektedir (Çalışkan vd., 2019).

Ahşap doğada hızla yenilenebilen bir kaynak olarak inşaat sektörü için önemli bir malzeme sunmaktadır. Ormanlar, her yıl milyonlarca ton karbonu atmosferden çekerek depolar. Bu karbonu yıllar boyu yapı malzemesi olarak saklar. Ağaçlar, fotosentez sırasında karbondioksiti alıp bu gazı organik maddeye dönüştürür. Bu süreç ahşabın çevresel faydalarını artırır. Bu sayede ahşap hem yenilenebilir hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayan bir malzeme olarak büyük bir öneme sahiptir.

Diğer yapı malzemelerinin aksine ahşap doğal olarak geri dönüştürülebilir ve tekrar tekrar kullanılabilir. Kullanılmadığı zaman doğada biyolojik olarak kolaylıkla olarak çözünebilir. Bu da onu çevre dostu inşaat projelerinde öne çıkaran faktörlerden biridir. Üretim süreci sırasında ahşap düşük enerji gereksinimleriyle üretilir. Bu da karbon ayak izini azaltır. Ahşap malzeme aynı zamanda ısı yalıtım özellikleri sayesinde enerji verimliliği açısından avantajlar sağlar.

Ahşabın düşük yoğunluğu yapıları hafif tutar ve ısıyı daha verimli bir şekilde muhafaza eder. Bu da enerji tasarrufu sağlar ve ısınma veya soğutma gereksinimlerini azaltır (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020).

Ahşap, çevreye katkı sağlayan önemli bir karbon depolama kaynağıdır. Ağaçlar, büyürken atmosferden aldıkları karbonu dokularında depolarlar. Bu süreç, ahşap yapılar inşa edildikçe bu karbonun uzun süreli olarak depolanmasına olanak tanır. Yapılar inşa edildikçe, ahşap malzeme karbonu içeride hapseder ve böylece inşa edilen her ahşap yapı, karbon nötr veya karbon negatif bir yapı haline gelir.

Karbon depolama kapasitesi, ahşabın çevresel sürdürülebilirlik açısından en değerli yönlerinden biridir. Ahşap malzemenin depoladığı karbon, binanın kullanım ömrü boyunca dışarı salınmaz. Bu özellik, diğer yapı malzemeleri ile kıyaslandığında ahşabın çok daha çevre dostu bir seçenek olmasını sağlar. Ayrıca, ahşabın karbon depolama kapasitesinin artırılması, sürdürülebilir inşaat projeleri için hayati öneme sahiptir. Ahşap, uzun vadede karbon depolayarak çevreye daha az zarar verir ve bu da onu modern inşaat için mükemmel bir seçenek yapar (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020).



3. AHŞAP YAPILAR VE TAŞIYICI KURGUSU

Ahşap, insanlık tarihi boyunca eski yapı malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçişin ilk dönemlerinden itibaren farklı coğrafyalarda değişen iklim koşullarına, kültürel alışkanlıklara ve yerel malzeme bolluğuna bağlı olarak kullanılmıştır (Özcan ve Güngör, 2019). Ahşap bu konularda barınma ihtiyacının karşılanmasında en temel yapı unsurlarından biri olmuştur. Anadolu'dan Japonya'ya, Kuzey Avrupa'dan Amerika kıtasına uzanan geniş bir coğrafyada ahşap yalnızca bir yapı malzemesi değil aynı zamanda sosyal kimliğin ve estetik anlayışın yansıdığı kültürel bir öge olarak varlığını sürdürmüştür (Parlak Biçer ve Şahin, 2020).

Ahşap malzeme kolay temin edilebilir olması, düşük yoğunluğa rağmen birim ağırlık başına yüksek taşıma kapasitesi ve iyi ısı–akustik özellikleri nedenleriyle hem geçici barınaklarda hem de kalıcı yapılarda geleneksel yapım sistemleriyle olduğu gibi yeni nesil inşaat sistemleriyle de kullanılmaktadır. Ahşabın bu erişilebilirlik ve çok yönlülük ikilisi onu geniş bir tipoloji yelpazesinde görünür kılmıştır (Çalışkan vd., 2019).

Dünya çapında örnekler ahşabın çok katlı yapılarda dahi tarihsel olarak sınındığını ve tipolojik çeşitliliğin yüksek olduğunu kanıtlar. Çin'deki Yingxian Ahşap Pagodası (M.S. 1056), Orta çağ İskandinav “slav” kiliseleri ya da İstanbul'daki geniş açıklıklı sivil yapılar farklı iklim–orman ürünleri–bağlantı teknikleri kombinasyonlarının nasıl “yerel” çözümler ürettiğini gösterir. Ayrıca bu örnekler ahşap malzeme ile yüksek yapıların yapılabileceğinin birer kanıtlarıdır. Bu çizgi, modern dönemde üst ölçekli açıklıkların geçilmesi ve çok katlı kullanımların mümkün kılınmasıyla farklı bir teknik evreye taşınmıştır (Tavşan vd., 2022).

Ahşabın tarihsel kullanımı aynı zamanda standartlar ve düzenlemeler tarihidir. TS 647 gibi yerel standartlara atıf yapılan çalışmalar malzemenin fiziksel–mekanik özelliklerine ilişkin bilgi eksikliklerinin güncel uygulamalarda risk doğurabileceğini vurgular. Bugün yeniden değerlendirilen ahşap yapımında “malzeme–detay–yönetmelik” üçgeninin önemini ortaya koyar. Tarihsel tekniklerin bilinmesi kadar, çağdaş tasarım–hesap–performans ölçütlerine göre yeniden yorumlanması gerekir (Çalışkan vd., 2019).

Dünyada ahşap yapı için düzenlenen önemli standartlar ve yönetmelikler için şunlar sayılabilir:

- Eurocode 5 (EN 1995-1-1); European Comitee for Standartization,
- DIN 1052; Deutsche Norm, Structural Use of Timber, Design and Construction,
- AITC; American Institute of Timber Construction,
- AS 1720.1-2010; Australian Standard, Timber Structures

Türkiye için ise ahşap yapı standart ve yönetmelikler:

- TS 647; Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
- ABYYHY 1997; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- TBDY 2018; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1
- Genel Teknik Şartname 1985
- İstanbul İmar Yönetmeliği 2007
- Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (24 Mart 2024'te Resmî Gazete'de yayımlandı ve 1 Ocak 2025'te yürürlüğe girmiştir.)

Sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesiyle ahşabın yenilenebilir bir kaynak oluşu ahşap malzeme ile üretilen yapıların görünürlüğüne artmıştır. Karbon depolama kapasitesi ve gömülü enerji bakımından avantajları nedeniyle “düşük karbonlu inşaat” hedefleriyle doğrudan örtüşmektedir. Ekolojik mimarlık literatürü ahşabın malzeme–yapım–işletme döngüsünde sağladığı çevresel faydaları öne çıkarırken, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ve döngüsel ekonomi perspektiflerinin tasarım kararlarıyla entegrasyonunu önerir. Bu çerçeve, yalnızca malzeme seçimini değil, detay çözümünden demontaj ve yeniden kullanım senaryolarına kadar uzanan bir dizi tasarım kararını etkiler. İlerleyen “Sürdürülebilirlik Perspektifi” bölümünde karbon ayak izi, geri dönüşüm ve yeşil sertifikalar (LEED/BREEAM) ekseninde kavramsal–ölçülebilir bir değerlendirme yapılacaktır.

Ahşabın yeniden yaygınlaşmasında ve daha efektif kullanılmasındaki önemli nokta “mühendislik ürünü ahşaplar”dır. Glulam (tutkallı tabakalı ahşap), CLT (çapraz lamine ahşap), LVL/LSL/OSL/PSL (yapısal kompozit keresteler, SCL ailesi), DLT/NLT/MPP gibi panel-kiriş sistemleri; büyük açıklık geçme, burulma-rijitlik kontrolü, tekrarlanabilir kalite ve endüstriyel ölçekte üretim gibi kritik gereksinimleri karşılar (Kayakıran ve Kışhalı, 2019). Glulam’ın lif yönünde taşıma gücünü “tabakalaştırma + yapıştırma” prensibiyle artırması, CLT’nin iki eksenli çalışma ve diyafram davranışıyla panel esaslı bir taşıyıcılık sunması, LVL ve kardeş ürünlerin ise boyutsal kararlılık ve yüksek özgül mukavemet değerleriyle çelik ve betonarme ile rekabet edebilmesi, bu malzeme ailesini modern yapı üretiminin merkezine yerleştirir. Türkiye’de glulam ve CLT örneklerinin sayısı sınırlı olmakla birlikte, sanayi altyapısının genişlemesi ve tedarik zincirlerinin olgunlaşmasıyla uygulama sayısının arttığı gözlenmektedir (Kayakıran ve Kışhalı, 2019).

İnşaat sektörünün iklim ve çevre üzerindeki etkilerini azaltma hedefi, ahşap yapıların yaygınlaştırılmasını stratejik bir seçenek olarak öne çıkarmaktadır. Ne var ki sektörün yavaş dönüşen yapısı ile betonarme ve çeliğin oluşturduğu “yol bağımlılığı”, yeniliklerin ölçeklenmesini sınırlamaktadır. Bu nedenle pek çok ülke, yönetmelik ve standart güncellemeleri, mali teşvikler, kamusal farkındalık kampanyaları ve stratejik programlar gibi araçlarla piyasayı yönlendirmekte; böylece malzeme-teknoloji dinamiklerini politika-teşvik-mevzuat ekseninde tamamlamaktadır (Şişman ve Balaban Ökten, 2023).

Uygulama örnekleri, özellikle konut alanında belirginleşmiştir. 1990’larda İskandinav ülkeleri, Birleşik Krallık ve Japonya’da başlayan teşvik dalgası, zamanla farklı tipolojilere yayılsa da en fazla etkiyi konut üretiminde göstermiştir; çok katlı ahşapta İsveç ve Finlandiya, müstakil konutta Birleşik Krallık ve Japonya öne çıkan örneklerdir. Türkiye, mevcut ahşap yapı stoğu ve politika uygulamalarının olgunluğu bakımından görece geriden gelse de son beş yılda geliştirilen program ve projeler, uyumlu bir düzenleyici çerçevenin sürekliliğiyle kısa vadede ivmeli bir büyüme potansiyeline işaret etmektedir (Şişman ve Balaban Ökten, 2023).

3.1. Geleneksel Ahşap Yapım Sistemleri

Geleneksel ahşap yapım sistemleri çoğu zaman ustadan çırağa aktarılan bilgi ve becerilerle gelişmiştir. Yapım bilgileri, yapım teknikleri tecrübeyle hep ustadan çırağa geçmiştir. Bu yöntemlerin sürekliliği yalnızca teknik doğruluk veya malzeme niteliği ile ilgili değildir. Aynı zamanda toplumun yaşam biçimi ile inşa kültürüyle de doğrudan ilişkilendirilmiştir. Örneğin, Karadeniz Bölgesi'nde taş ve ahşabın birlikte kullanıldığı hımış veya çatki sistemler hem bölgedeki orman varlığı hem de nemli iklim koşulları ile uyumlu çözümler sunmuştur. Bu durum, iklimin ve malzeme bulunabilirliğinin yapı sistem seçiminde ne denli belirleyici olduğunu gösterir (Başkan, 2008).

Ahşap yapım geleneği, çoğu bölgede karma sistemler aracılığıyla da kendini göstermektedir. Karma sistemlerde ahşap taşıyıcı veya ikincil eleman olarak taş, kerpiç ya da tuğla ile kullanılır. Bu yapım sistemi hem yapının dayanıklılığını hem de malzeme kullanımında ekonomik verimliliği artırır (Başkan, 2008). Örneğin, Safranbolu evlerinde zemin kat genellikle taş yığma, üst katlar ise ahşap karkas sistemle inşa edilmiştir. Böylece zemin kat hem rutubetten korunmuş hem de yapı kütlelerine sağlam bir temel sağlanmıştır (Başkan, 2008; Özcan ve Güngör, 2019).

Usta-çırak ilişkisi ile gelişen geleneksel yapım teknikleri modern mühendislik ilkelerinin yaygınlaşmasından önce, yerel koşullara göre optimize edilmiş çözümler sunuyordu. Bu bilgi birikimi zamanla tipolojiler oluşturmuş ve bölgesel mimari kimliğin oluşmasına katkıda bulunmuştur. Japon mimarisinde görülen “Azekura” depoları ile Karadeniz'deki “Serender” yapıları, farklı kültürel bağlamlarda ortaya çıkmış olsalar da ahşap yığma tekniğinin benzer mantıkla nasıl uygulanabildiğini göstermektedir (Başkan, 2008; Özcan ve Güngör, 2019).

Bu bağlamda ahşap yapım tekniklerinin seçiminde belirleyici olan unsurlar malzemenin yerel bulunabilirliği, iklim koşullarına dayanıklılık, kültürel estetik değerler ve inşa geleneğinin sürekliliğidir. Geleneksel yapım sisteminde bu kriterler önceliklidir. Geleneksel sistemler her ne kadar günümüzde modern mühendislik malzemeleri ile mukavemet ve kullanılabilirlik açısından rekabet etmesi zor olsa da sürdürülebilirlik ve yerel kimlik açısından hâlâ önemli bir referans noktası sayılır (Parlak Biçer ve Şahin, 2020).

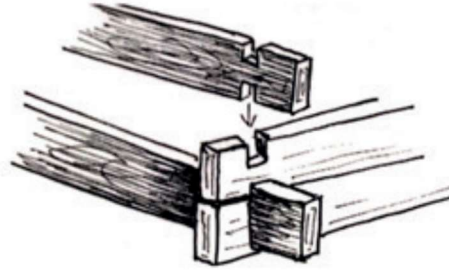
Bu bağlamda “Geleneksel Ahşap Sistemleri” başlığa altında yığma sistemler ve karkas (çatki) sistemler incelenecektir.

3.1.1. Yığma Sistem

Ahşap yığma sistem tarihsel süreçte hem konut hem de kamusal yapı tipolojilerinde yaygın olarak kullanılmış, basit ancak dayanıklı bir inşa tekniğidir. Sistemin temelinde ahşap elemanların yatay olarak üst üste getirilmesiyle duvarların oluşturulması yer alır. Bu duvarlar, taşıyıcı işlev görürken aynı zamanda yapı kabuğunun bir parçası olarak yalıtım sağlarlar. Ayrıca mekanları ayırmada da yine bu sistem görevi üstlenir. Yığma tekniğinde kullanılan ahşap elemanlar, kereste ya da kaba formda kesilmiş kütükler olabilir. Ancak her iki durumda da yapının strüktürel bütünlüğü özellikle köşe birleşim noktalarındaki bağlantı tekniklerinin doğru uygulanmasına bağlıdır. Bu konuda birçok köşe birleşim tekniği zamanla üretilmiş ve kullanılmıştır.

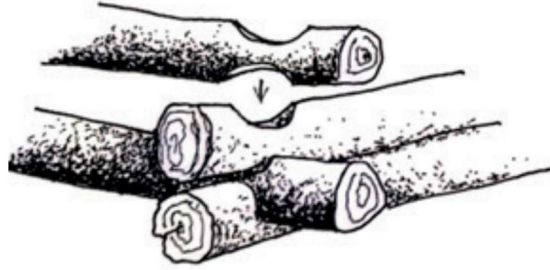
Geleneksel yığma yapılarda köşe birleşimleri hem yük aktarımı hem de yapının yatay kuvvetlere karşı dayanımı açısından kritik önemdedir. Anadolu’da en yaygın kullanılan tekniklerden biri “kırlangıç kuyruğu” geçmesidir. Bu yöntemde kütüklerin uçları, birbirine geçecek şekilde özel olarak yontulur ve böylece yapının köşe noktalarında hem düşey hem yatay stabilite sağlanır. Bazı bölgelerde ise “yarım geçme” veya “tam geçme” teknikleri uygulanır. Geçme yönteminin seçimi, çoğunlukla bölgesel marangozluk geleneği, kullanılacak ağaç türü ve yapı ölçeğine bağlıdır.

Kurtboğazı birleşim tekniği ise yine geleneksel ahşap yapı sistemlerinde kullanılan iki ahşap elemanın uç kısmının özel olarak kesilerek birbirine geçmesiyle oluşturulan bir bağlantı yöntemidir (**Şekil 3.1**). Bu teknikte, bir elemanın ucu dişli (çıkıntılı), diğer elemanın ucu ise karşılıklı olarak oyulmuş şekilde hazırlanır. Böylece iki parça hem düşey hem yatay yükleri karşılayacak şekilde birbirine kenetlenir. Çivi veya metal bağlantı elemanına ihtiyaç duymadan ahşabın kendi geometrisi sayesinde sağlam bir kilitleme sağlar (Dolu, 2015).



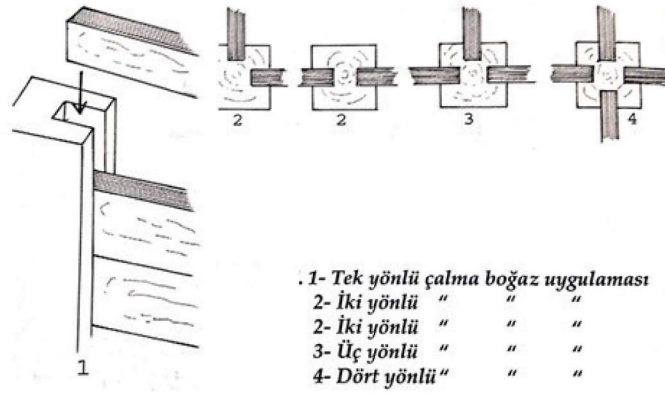
Şekil 3.1: Kurtboğaz birleşim tekniği (Dolu, 2015).

Karaboğaz birleşim tekniği, çantı (ahşap yığma) yapılarda kullanılan bir diğer geleneksel köşe geçme yöntemidir (**Şekil 3.2**). Kurtboğazı tekniğinde olduğu gibi elemanlar köşede çivisiz olarak birbirleriyle kenetlenir; ancak karaboğazda kертme daha sade ve derinliği sınırlıdır, bu da yapım süresini kısaltır ve işçiliği kolaylaştırır (Dolu, 2015). Bu nedenle özellikle pratik uygulama gerektiren, malzeme boyutlarının sınırlı olduğu ya da hızlı inşa edilmesi gereken yapılarda tercih edilir. Kurtboğazına kıyasla kilitleme yüzeyi daha az olduğundan, yapısal rijitliği nispeten düşüktür; ancak bakım ve onarım sırasında sökülüp yeniden takılması daha kolaydır (Furtuna ve Ulusoy Binan, 2018).



Şekil 3.2: Karaboğaz birleşme tekniği (Dolu, 2015).

Çalma boğaz birleşim sistemi, çantı yapılarda köşe oluşturmak için kullanılan bir diğer geleneksel yöntemdir (**Şekil 3.3**). Bu teknikte köşe birleşimi köşeye yerleştirilen dikey bir armoz direği (kanallı dikme) aracılığıyla sağlanır. Duvar elemanlarının uçları bu dikme üzerindeki yivlere oturtulur (Furtuna ve Ulusoy Binan, 2018). Kurtboğazı ve karaboğaz tekniklerinden farklı olarak, eleman uçları doğrudan birbirine geçmez. Bağlantı ara eleman üzerinden yapılır.



Şekil 3.3: Çalmaboğaz birleşim sistemi (Dolu, 2015).

Yığma sistemin başarısı büyük ölçüde kullanılan ahşabın türüne ve kalitesine bağlıdır. Karadeniz Bölgesi’nde ladin, çam ve göknar gibi iğne yapraklı türler tercih edilirken; Batı Karadeniz’de meşe ve kestane gibi sert yapılı ağaçlar yaygın olarak kullanılır. Sert ağaçlar daha yüksek dayanım sağlasa da işlenmeleri zordur; buna karşılık iğne yapraklı türler işlenmesi kolay ancak çürüme ve böceklenmeye karşı daha hassastır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB, 2009). Japonya’da “Azekura” ambarlarında sedir ve selvi ağaçlarının tercih edilmesi, bu türlerin doğal reçineleri sayesinde uzun ömürlü ve neme dayanıklı olmalarından kaynaklanır.

Geleneksel ahşap yığma yapılarda duvar kalınlıkları genellikle 8–24 cm arasında değişir. Kalınlık, yapının bulunduğu iklim kuşağına, kullanım amacına ve malzeme bulunabilirliğine göre belirlenir (Demirrenk ve Erarslan, 2018). Soğuk iklimlerde, özellikle rüzgâr yükünün yüksek olduğu bölgelerde, daha kalın duvarlar tercih edilir. Ayrıca bu bölgelerde duvar iç yüzeyine ek yalıtım veya kaplama yapılması da yaygındır.

Karadeniz Bölgesi ahşap yığma sistemin en yoğun görüldüğü bölgelerden biridir. Rize, Artvin ve Trabzon’da yer alan “çantı evler”; kaba boşluklu kütük yığma, yontulmuş kütük yığma ve ahşap blok yığma gibi alt tipleriyle dikkat çeker. Bu yapılarda köşe birleşim teknikleri duvarların yatay kuvvetlere karşı direncini artırmak üzere tasarlanmıştır. Kimi yapılarda kütükler taş temeller üzerine oturtularak nem ve çürüme riski azaltılır (Demirrenk ve Erarslan, 2018).

Günümüzde ahşap yığma yapıların restorasyonu hem malzemenin özgün karakterini koruma hem de enerji verimliliğini artırma amacı taşır. Karaş, Doğan ve Öztürk’ün (2023) Trabzon’daki geleneksel bir yığma ev üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada

modern yalıtım malzemelerinin ahşap duvarlara entegre edilerek ısı kayıplarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Ancak bu tür müdahalelerde ahşabın nefes alabilme özelliğinin korunması esastır. Aksi halde malzeme bünyesinde nem birikerek çürüme hızlanabilir.

3.1.2. Karkas (Çatki) Sistem

Ahşap karkas ya da diğer adıyla çatki sistem; yapı yüklerini temel sistemine aktaran dikey, yatay ve eğik ahşap elemanlardan oluşan bir taşıyıcı sistemdir. Bu sistemde temel iskelet ahşap dikmeler (kolonlar), kirişler ve aşıklar ile kurulur; elemanlar arasına yatay veya diyagonal destekler eklenerek rijitlik sağlanır. Karkas sistem ahşap yığma tekniklerinden farklı olarak daha az malzeme ile daha fazla açıklık geçme, farklı malzemelerle birlikte kullanılabilme ve kat sayısını artırma olanağı sunar (Elmas ve Altın, 2024).

Karkas sistemin ana bileşenleri arasında en belirgin olanlar dikmelerdir. Düşey taşıyıcılar olarak işlev gören bu elemanlar, genellikle kare veya dikdörtgen kesitli olup aşıklar ve kirişlerle bağlanır. Ana kirişler ise dikmeler arasında yatay yükleri taşıırken aşıklar çatı sistemini destekler. Rijitliği artırmak için diyagonal destek elemanları (payandalar) eklenir. Bu sayede deprem ve rüzgâr yüklerine karşı daha dayanıklı bir yapı elde edilir (Doğan, 2010). Karkas sistemin bu modüler yapısı hem tasarım esnekliği hem de farklı dolgu ve kaplama seçenekleri açısından avantaj sağlar.

3.1.2.1. Dolgu Malzemeleri

Ahşap karkas sistemlerde dolgu malzemeleri taşıyıcı iskeletin boşluklarını dolduran ve yapıya hem mekânsal bütünlük hem de iklimsel koruma kazandıran unsurlardır. Bu malzemeler yapının estetik kimliğini olduğu kadar mühendislik performansını da belirler. Dolgu malzemelerinin seçimi bölgesel iklim koşullarına, malzeme bulunabilirliğine, kültürel alışkanlıklara ve ekonomik faktörlere bağlı olarak değişir (Doğan, 2010; Aktaş, 2017). Türk geleneksel karkas yapılarda duvarlar genelde dolgu malzemeleri doldurulmaktadır. Bu dolgu malzemeleri ahşap, kerpiç, tuğla ve kerpiç malzemelerdir.

Hımış, Anadolu'daki ahşap karkas yapı geleneğinin en karakteristik dolgu tipidir. Ahşap iskeletin dikme ve kirişleri arasındaki boşluklar, genellikle kerpiç, taş veya

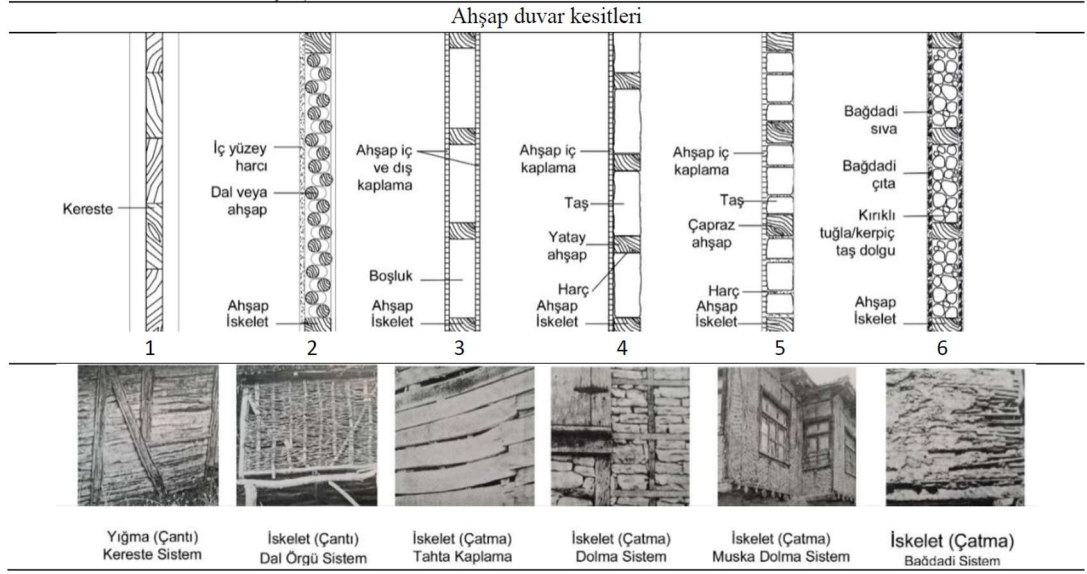
tuğla gibi malzemelerle doldurulur. Bu dolgular, bazen doğrudan ahşap çerçeve içine yerleştirilir bazen de ince ahşap çıtalarla örülmüş bir alt yapıya uygulanır. Geleneksel hımış sistemlerde kerpiç kullanımı yaygındır; çünkü kerpiç, bölgedeki toprak ve su kaynakları kullanılarak yerinde üretilir ve nefes alabilen yapısıyla nem kontrolüne yardımcı olur.

Hımış dolguların mühendislik açısından en önemli avantajı hafifliğidir. Ağır yığma duvarlara kıyasla, hafif dolgu malzemesi deprem sırasında yapıya daha az yatay yük bindirir. Ayrıca karkas iskelet, deprem sırasında enerji emme kapasitesi yüksek olan bir çerçeve gibi çalışır; dolgu çatlaklar oluştursa bile taşıyıcı sistem bütünlüğünü korur. Bu özellik, özellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı'na yakın bölgelerde hımış sistemlerin tercih edilmesinin temel nedenlerinden biridir (Aktaş, 2017).

Hımış dolgularda kullanılan malzemenin türü, yapının kullanım ömrü ve bakım ihtiyacını doğrudan etkiler. Taş dolgu mekanik dayanımı artırırken kerpiç dolgu daha iyi ısı yalıtımı sağlar. Tuğla dolgular ise düzenli üretim boyutları sayesinde montaj kolaylığı sunar (Doğan, 2010). Ancak her malzemenin dezavantajları da vardır: kerpiç suya karşı hassastır, taş ise ağırdır ve karkas üzerinde ek yük oluşturur, tuğla ise termal hareketlere karşı çatlama riski taşır.

Uluslararası ölçekte, hımışa benzer sistemler Japonya, Almanya ve Fransa'da da görülür. Japonya'da "namako kabe" tekniğinde ahşap iskelet, çamur bazlı harç ve bambu hasır dolgu ile kaplanır. Almanya'nın "Fachwerk" evlerinde ise ahşap iskelet, kireç harcıyla bağlanmış kerpiç veya tuğla dolgularla tamamlanır. Bu örnekler farklı coğrafyalarda benzer strüktürel mantığın yerel malzemelerle nasıl uyarlanabileceğini gösterir (Özcan ve Güngör, 2019).

Dolgusuz iskelet sistemlerde, ahşap karkasın boşlukları tamamen açık bırakılır veya yalnızca ince bir kaplama ile kapatılır. Bu sistemler genellikle yazlık, geçici veya tarımsal amaçlı yapılarda kullanılır. Dolgusuz iskelet, en hafif yapı tiplerinden biridir; bu nedenle hem malzeme maliyeti hem de yapım süresi kısadır. Ancak yalıtım performansı düşüktür. Isı kaybı yüksek olduğu için, kış koşullarında kullanılacak yapılarda tercih edilmez. Deprem performansı ise yüksektir; çünkü taşıyıcı sistemin esnekliği maksimum düzeydedir (**Şekil 3.4**).



Şekil 3.4: Geleneksel Ahşap Duvar Tipleri Kesitleri ve Örnekleri (Demirrenk ve Erarslan, 2018).

3.1.2.2. Kaplama ve Sıva Malzemeleri

Geleneksel ahşap mimaride kaplama ve sıva teknikleri hem yapısal bir gereklilik aynı zamanda estetik ve kültürel bir ifade aracıdır. Ahşap taşıyıcı sistemler doğaları gereği çevresel etkilere karşı korunmaya ihtiyaç duyar. Bu nedenle, farklı dönemlerde ve coğrafyalarda ustalar ahşabı korumak ve yapıyı iklim koşullarına uyarlamak için çeşitli kaplama çözümleri geliştirmiştir (Doğan, 2010; Furtuna ve Ulusoy Binan, 2018).

Kaplama türleri, çoğunlukla yerel malzeme kaynaklarına ve iklim koşullarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Anadolu’da Karadeniz’in yoğun yağış alan bölgelerinde düşey ve yatay ahşap kaplamalar öne çıkarken Orta Anadolu’da kerpiç dolgulu ve çamur sıvalı kaplama daha yaygın görülmüştür. Benzer biçimde taş dolgulu kaplamalar ve hasır ve kamış kaplamalar tercih edilmiştir.

Ahşap kaplama ahşap taşıyıcı sistemlerin dış yüzeylerinin levha, tahta veya çitalarla örtülerek hem koruma hem de estetik amaçlı tamamlanmasıdır. Geleneksel ahşap yapıların en karakteristik yüzey bitirme tekniklerinden biridir. En yalın tanımıyla, karkasın dış yüzeyinin ahşap levha tahta veya çitalarla kaplanması esasına dayanır. Bu uygulama yalnızca bir koruma yöntemi değil aynı zamanda estetik bir düzenleme

aracıdır. Ahşap malzeme dış ortam etkilerine karşı cepheyi korurken, aynı zamanda yapıya sıcak ve doğal bir görünüm kazandırır.

Düşey kaplama (Bindirme / Dilme Tahtalar) ve yatay kaplamalar özellikle yağmur suyunun tahliyesini kolaylaştırması ve yapıya dikey veya yatay bir hareketlilik kazandırması açısından tercih edilmiştir. Bu teknikte tahtalar üst üste bindirilerek cepheye çakılır. Bindirme yöntemi, kaplama tahtaları arasındaki boşluklardan su girişini engellediği için özellikle yağışlı bölgelerde yaygındır.

Bağdadi sıva ise geleneksel ahşap mimaride en yaygın kullanılan kaplama ve sıva tekniklerinden biridir. Yapım tekniği ahşap çıtaların sık aralıklarla karkasa çakılması ve bu yüzeyin kireç, kireç-kum ya da bazen alçı sıva ile kaplanmasıdır. Böylece hem taşıyıcı iskeletin korunması hem de düz, boyanabilir bir yüzey elde edilmesi sağlanır. Hafifliği, uygulanabilirliği ve estetik görünümü nedeniyle, özellikle Osmanlı dönemi konut ve dini yapılarda sıkça kullanılmıştır (Doğan, 2010).

Bağdadi sıva hem dış cephelerde hem de iç mekânlarda uygulanmıştır. Dış cephelerde daha çok yağmur, güneş ve rüzgâr etkilerine karşı koruyucu bir tabaka işlevi görürken, iç mekânlarda düz yüzey elde etmek için tercih edilmiştir. Osmanlı dönemi evlerinde iç mekânların sıva altı yüzeylerinde bu tekniğin yaygın şekilde kullanıldığı bilinmektedir.

Teknik Özellikleri:

- Çıtaların aralığı genellikle 1–2 cm olacak şekilde düzenlenir.
- Çıtalar arasındaki boşluk, sıvanın daha iyi tutunmasını sağlar.
- Sıva genellikle birkaç katman halinde uygulanır: ilk kat kaba, sonraki katlar ince sıvadır.
- Kimi bölgelerde son katman kireç badana ile tamamlanarak beyaz ve ferah bir görünüm sağlanır.

Bağdadi kaplamanın en önemli avantajı hafifliği ve esnekliğidir. Ağır taş veya tuğla duvarların aksine, bağdadi yüzeyler sismik hareketlere karşı daha dayanıklı bir davranış gösterir. Ayrıca ince çıtalar sayesinde sıva tabakasının çatlama riski azalır. Görsel açıdan ise düzgün ve temiz bir yüzey elde edilmesi bağdadi tekniğini diğer kaplama türlerinden ayırır (Doğan, 2010).

3.2. Modern Ahşap Yapım Sistemleri

Ağaç malzemenin yapım kültüründeki yeri, son yirmi yılda “mühendislik ürünü ahşap” ailesinin yaygınlaşmasıyla yeni bir aşamaya evrilmiştir. Bu değişim, ahşabın daha öngörülebilir davranması, boyutsal olarak kararlı kalması ve fabrikada üretilip sahada hızla monte edilebilmesi anlamına gelmiştir. Ahşap malzemeler belli standart ölçülerde kolayca üretilmekte ve prefabrikasyon olarak üretilerek daha kullanışlı hale gelmiştir. Yönetmeliklere uyum ve sürdürülebilirlik hedefleri bu dönüşümü besler (Çalışkan vd., 2019). Çok katlı konutlarda CLT kullanımı artmıştır; panel ve iskelet kurgularının birlikte kurulabilmesi, plan düzenine ve şantiye hızına somut esneklik katmıştır (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

Modern yapısal ahşap glulam, CLT, LVL ve yapıştırıcısız panel sistemleri (NLT/DLT) ile ahşap–beton ve ahşap–çelik hibritlerini kapsar. Glulam, paralel lifli lamellerin yapıştırılmasıyla üretilir; büyük açıklıklar ve eğrisel biçimler için güvenilir bir taşıyıcı oluşturur (Kayakıran ve Kishalı, 2019). LVL, ince kaplamaların aynı yönde lamine edilmesiyle tutarlı dayanım ve iyi boyutsal kararlılık sağlar. NLT/DLT gibi yapıştırıcısız paneller, sökülüp yeniden kurulmaya elverişlidir; bu yönüyle döngüsellik fikrini güçlendirir. CLT paneller duvar, döşeme ve çatı diyaframı olarak çalışabilir; çok katlı konut ve ofislerde düzenli bir taşıyıcı ızgara kurmayı kolaylaştırır (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

Performans tarafı, sismik davranış, yangın güvenliği, akustik ve ısı konfor başlıklarının birlikte düşünülmesine dayanır. CLT perde duvarlı çok katlı bir konut modelinde, bağlantı ve panel dizilimi gibi detayların deprem tepkisini belirgin biçimde etkilediği gösterilmiştir; aynı malzeme farklı ayrıntılarla farklı sonuç verebilir (Tonyalı vd., 2024). Yangında ahşap yüzeyde oluşan kömürleşme alt tabakayı korur; alev geciktiriciler yayılımı sınırlar, ancak dozaj–mekanik denge dikkat ister. Akustik ve ısı konforda katman tasarımı ve perforasyon etkili araçlardır; CNC ile bu detaylar hassas biçimde uygulanabilir.

3.2.1. Mühendislik Ahşap Malzemeleri

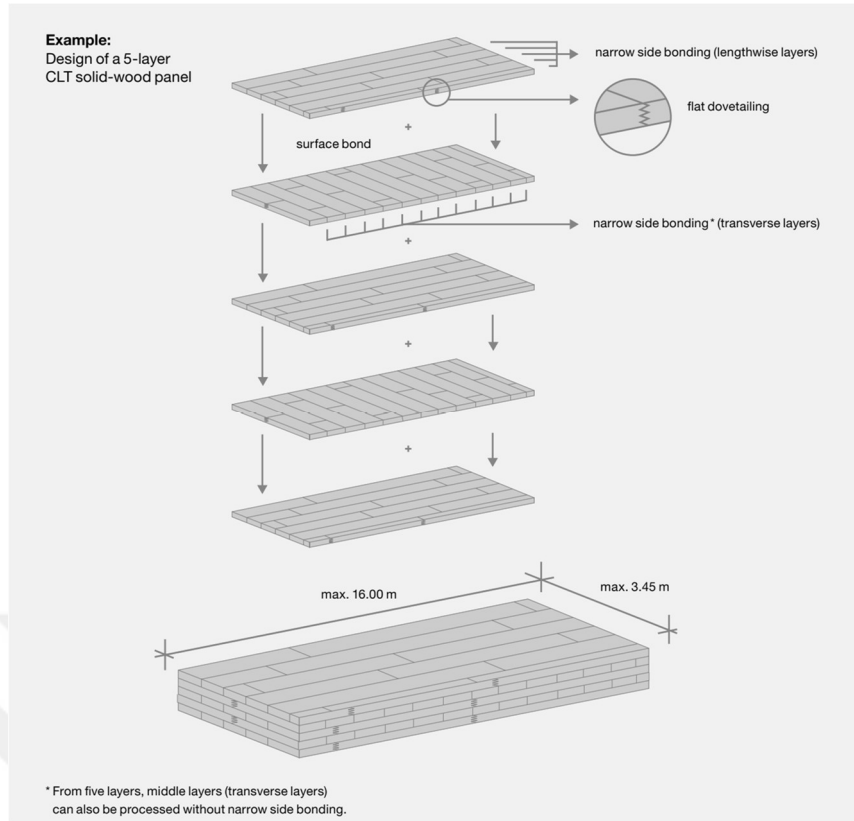
Çok katlı konutlarda mühendislik ahşaplarının kullanımı artmış ve 8+ katlı örneklerin sayısı çoğalmıştır. Panel ve iskelet kurgularının birlikte kurulabilmesi, plan düzenine

ve şantiye hızına somut esneklik katmıştır (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023). Bu yaygınlaşmanın temel nedeni, CLT panellerin GLT ve LVL iskeletlerle ve gerektiğinde betonarme ya da çelik çekirdeklerle birlikte kullanılabildiği hibrit kurgu sayesinde plan yerleşiminde ve birim tiplendirmede sağlanan esnekliktir. Ayrıca fabrikada kesilip numaralanan panellerin kuru montajla birleştirilmesi şantiye hızını artırır; tolerans kontrollü bağlantılar montaj kalitesini ve tekrar üretilebilirliği yükseltir (Tavşan vd., 2022).

Modern yapısal ahşap GLT, CLT, LVL ve yapıştırıcısız panel sistemleri NLT/DLT ile ahşap–beton ve ahşap–çelik hibritlerini kapsar. GLT, paralel lifli lamellerin yapıştırılmasıyla üretilir. Büyük açıklıklar ve eğrisel biçimler için güvenilir bir taşıyıcı oluşturur. LVL, ince kaplamaların aynı yönde lamine edilmesiyle tutarlı dayanım ve iyi boyutsal kararlılık sağlar. NLT/DLT gibi yapıştırıcısız paneller, sökülüp yeniden kurulmaya elverişlidir; bu yönüyle döngüsellik fikrini güçlendirir (Kayakıran ve Kışhalı, 2019). CLT paneller duvar, döşeme ve çatı diyaframı olarak çalışabilir; çok katlı konut ve ofislerde düzenli bir taşıyıcı ızgara kurmayı kolaylaştırır (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

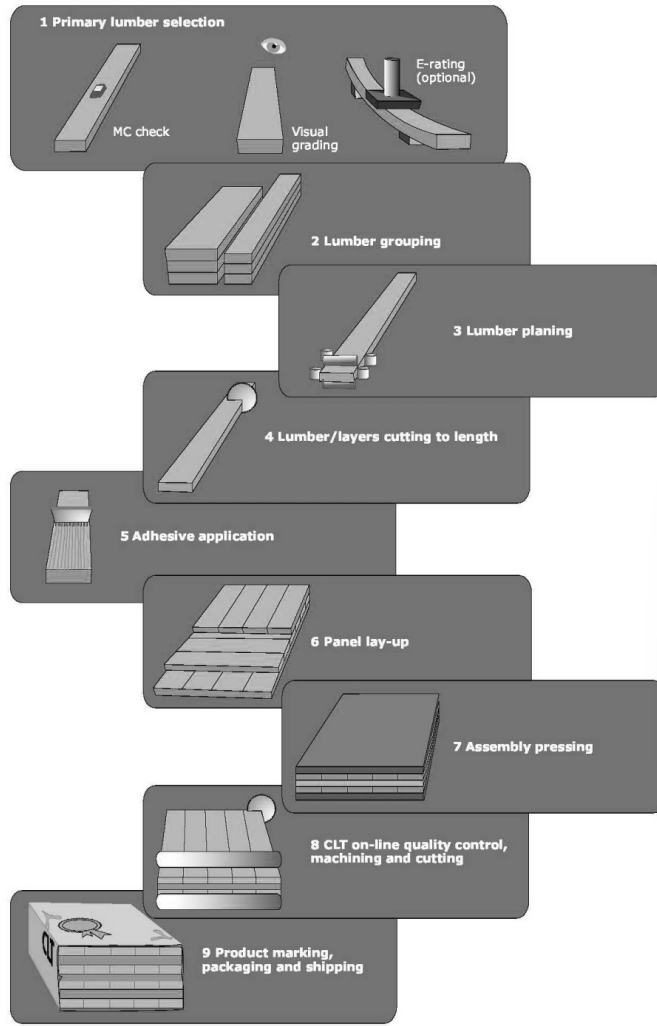
3.2.1.1. CLT (Çapraz Lamine Ahşap)

Tabakaları birbirine dik yerleştirilmiş tahta lamellerden oluşan CLT, fabrika koşullarında yapıştırılarak üretilen ve iki veya üç doğrultuda çalışan bir panel sistemidir (**Şekil 3.5**). Tabaka sayısı çoğunlukla tek sayıdır; 3, 5 veya 7 tabaka yaygındır. Dış tabakalar panelin “ana” doğrultusunu belirler ve taşımanın önemli bölümünü üstlenir. Liflerin ortogonal yerleşimi boyutsal kararlılığı artırır ve kesme yüklerinin daha dengeli dağılmasına yardım eder. Bu nedenle CLT düşük öz ağırlığına rağmen yüksek rijitlik sunar ve duvar, döşeme ile çatı diyaframı olarak güvenle kullanılabilir (Karacabeyli and Gagnon, 2019).



Şekil 3.5: 5 Katlı CLT plaka tasarımı (Karacabeyli and Gagnon, 2019).

Üretim zinciri, uygun kalitede yumuşak ağaç lamellerin seçimiyle başlar. Lameller endüstriyel kurutma ile hedef nem aralığına indirilir, parmak ek (finger-joint) ile boyuna uzatılır ve planyalama ile düzgün yüzey elde edilir. Ardından tabakalar, bir alttaki tabakaya dik gelecek biçimde simetrik bir düzenle dizilir. Yapıştırıcı seçimi (örneğin fenolik veya poliüretan sistemler) pres tipine, üretim hızına ve hedeflenen hat verimine göre belirlenir. Presleme tamamlandıktan sonra panel kalibre edilir; kenarlar temizlenir ve yüzey bitirme işlemleri yapılır. Kapı-pencere boşlukları, bağlantı yuvaları ve tesisat kanalları çoğu kez CNC ile fabrikada açılır; bu da sahada kuru montajı hızlandırır, tolerans yönetimini kolaylaştırır ve hata riskini düşürür (Karacabeyli and Gagnon, 2019).



Şekil 3.6: CLT üretim süreci (Karacabeyli and Gagnon, 2019).

Malzeme özellikleri yalnızca “hangi ağaç türü kullanıldı?” sorusuyla sınırlı değildir. Tabaka kalınlığı, lif yönlenmesi, yapıştırıcı davranışı ve panel simetrisi de mekanik sonuçları etkiler. Bu vurgu, tasarımcının iki doğrultuda çalışan panel mantığını kat yüksekliği, açıklık ve yük aktarımı gibi kararlarla uyumlu kurmasına yardımcı olur. Çok katlı konut uygulamalarına ilişkin bulgular, sistemin yapım süresi, kütle–rijitlik dengesi ve çevresel ölçütlerle birlikte okunabildiğini gösterir (**Şekil 3.6**) (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

3.2.1.2. GLT (Glulam Lamine Ahşap)

GLT (Glued Laminated Timber), Türkçede “tutkallı tabakalı ahşap/lamine ahşap” olarak anılan mühendislik ahşap ürünlerinden bir diğeridir. İnce ahşap lamellerin lif doğrultuları genellikle paralel olacak biçimde yapıştırıcılar ve pres altında

birleştirilmesiyle üretilir. Böylece masif ahşabın düzensizlikleri (budak, çatlak vb.) büyük ölçüde elenir ve daha büyük kesitler, eğrisel formlar ve uzun açıklıklar güvenle çözülebilir. Bu durum tasarımda esnekliklere izin verir. GLT; kiriş, kolon, kemer gibi taşıyıcı elemanlarda yüksek özgül dayanım, boyutsal kararlılık ve biçim verilebilirlik sağlar (Kayakıran ve Kışhalı, 2019).

Uygulamada GLT spor salonları, köprüler ve geniş açıklıklı çatı sistemleri gibi yapılarda tercih edilebilir. CLT'den (çapraz lamine ahşap) farklı olarak lamelleri aynı yönde tabakalandığı için özellikle eğilme çalışan kiriş/kemer elemanlarında etkindir. Literatürde GLT'nin çelik kirişlere kıyasla yanal burkulmaya daha az eğilim gösterebildiği, bazı koşullarda maliyet ve sera gazı salımı açısından avantaj sağlayabildiğinden bahsedilmiştir. Aynı zamanda karbon depolama kapasitesiyle çevresel performansı desteklediği bildirilmektedir (Hassan and Johansson, 2018; Kayakıran ve Kışhalı, 2019).

3.2.1.3. SCL Ailesi: LVL / LSL / OSL / PSL (Yapısal Kompozit Keresteler)

SCL, odun hammaddesini kaplama (LVL) veya şerit/strand (LSL/OSL/PSL) formuna getirip yönlü olarak bir araya toplayan ürün ailesidir. İşlem yönünde (üretim yönü) eğilme/çekme/rijitlik artar; yönsellik, tasarım ve bağlantı kararlarına doğrudan yansır. Kapsayıcı kaynaklar, SCL'yi ahşap temelli kompozitler içinde ayrı bir sınıf olarak tanımlar (Güller, 2004).

LVL, Laminated Veneer Lumber (Lamine Kaplama Kereste); soyulmuş ince kaplamaların (veneer) lif doğrultuları çoğunlukla paralel olacak biçimde üst üste yapıştırılmasıyla üretilir. Boyutsal kararlılığı, eğilme ve basınçtaki performansı ve uzun açıklıkları karşılayabilmesi sayesinde kiriş, başlık (header), lento, döşeme/çatı plakası gibi elemanlarda yaygındır. Kaplama dizilişi ve pres parametreleri elastikiyet modülü ve eğilme dayanımını belirgin etkiler.

LSL, Laminated Strand Lumber (Lamine Yonga Kereste); Görece uzun odun yongalarının (strand) belirli bir yönlenmeyle tabakalanıp yapıştırılmasıyla elde edilir. Lif sürekliliği sınırlı olduğu için vidalama/çivileme gibi bağlantı davranışları kritik olup, tasarımda sık kullanıldığı yerler başlıklar, dikmeler ve kenar kirişlerdir.

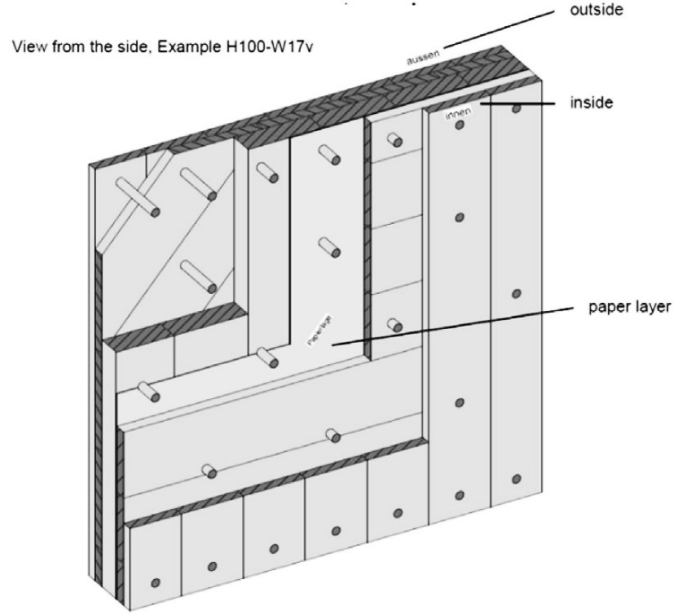
OSL, Oriented Strand Lumber (Yönlendirilmiş Yonga Kereste); LSL'ye benzer biçimde yonga tabanlıdır. Üretimde yongaların yönlendirilmesi ve yataklanma yoğunluğu panelin elastik/rijit davranışını şekillendirir. Literatürde OSL'nin bazı bağlantı türlerinde (örn. vida çekme direnci) LSL'ye kıyasla avantaj gösterebildiğine dair bulgular vardır.

PSL, Parallel Strand Lumber (Paralel Yonga/Şerit Kereste); uzun, dar şeritlerin (paralel yönlenmiş strand/şerit) yüksek basınç altında yapıştırılmasıyla üretilir. Uzun boyda ve büyük kesitli kolon-kiriş üretimine elverişlidir; odun kullanım verimliliğinin görece yüksek oluşu ve liflerin paralel sürekliliği, taşıyıcı elemanlarda tercih edilmesini destekler (Güller, 2004; Stark et al., 2010).

3.2.1.4. Yapıştırıcısız Paneller: DLT ve NLT

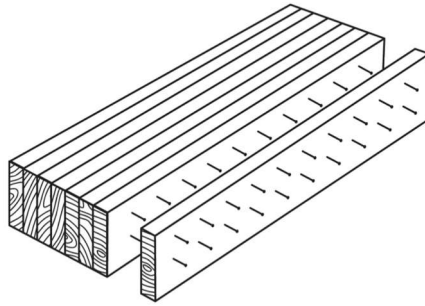
Yapıştırıcısız paneller, geleneksel marangozluk ilkelerini çağdaş üretimle ölçekleyen masif ahşap çözümlerinin başlıca iki üyesi olan DLT ve NLT ile temsil edilir. Yapıştırıcı yerine mekanik kenetlenme kullanımı düşük VOC—volatile organic compounds (uçucu organik bileşikler) salımı, sökülebilirlik/geri dönüştürülebilirlik ve atölye ya da şantiyede hızlı üretim gibi gerekçelerle özellikle döşeme ve çatı diyaframlarında tercih edilirler (Sotayo, 2020).

DLT, Dowel-Laminated Timber (Dübelli Lamine Ahşap Panel); dar kesitli masif lamellerin, nem içeriği daha düşük sert ağaç dübeller (çoğunlukla kayın/Fagus) ile pres/jig üzerinde bir araya getirilmesiyle üretilir (**Şekil 3.7**). Servis neminde dübellerin şişmesiyle sıkı geçme oluşur ve panel tutkalsız, çoğu kez metalsiz bir bütün haline gelir. Düz tabakalı levhalar kadar, tabakaların yönlendirildiği varyantlar duvar/diyafram uygulamalarına olanak tanır. Döşeme, ara kat ve iç mekân panellerinde kullanımı yaygındır (Sotayo, 2020).



Şekil 3.7: DLT ahşap örneği (Sotayo, 2020).

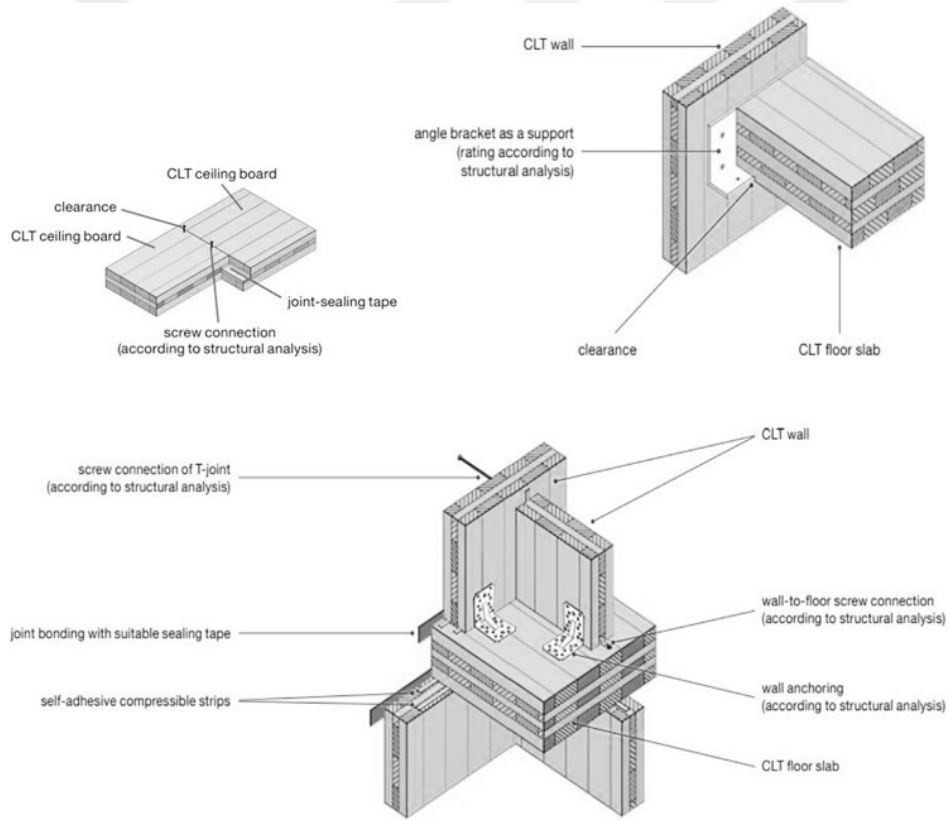
NLT—Nail-Laminated Timber (Çivili Lamine Ahşap Panel) ise masif kereste şeritlerinin dik kesitte yan yana getirilip çivilerle birleştirilmesinden oluşur (**Şekil 3.7**). Basit işlemlerle atölye veya şantiyede hızla imal edilebilir. En sık döşeme/çatı diyaframı olarak kullanılır. Gerektiğinde NLT–beton kompozit (ahşap-beton kompozit) kurgularla titreşim, akustik ve yangın performansı yükseltilebilir. Çivi düzeni (şaşırtmalı/doğrusal), kereste sınıfı ve kenar detayları panelin eğilme rijitliği ve servis davranışını belirgin etkiler; uygun kapsülleme ve bağlantı detaylarıyla yönetmelik hedefleri pratikte yakalanabilmektedir.



Şekil 3.8: Çivilenmiş lamine kereste (NLT) (Web 1).

3.2.2. Modern Ahşap Bağlantı Elemanları

Ahşap yapılarda “bağlantı”, ayrı elemanların yük aktarımını, deformasyon uyumunu ve bütünsel davranışını güvenli biçimde sağlayan elemanlardır (**Şekil 3.9**). Aynı zamanda sistemin süneklik, rijitlik, dayanım ve dayanıklılık (durabilite) niteliklerini belirgin ölçüde etkileyen kontrol sağlar. Çivi, tel zımba, vida, cıvata, kavela gibi dübel-tipi ve zımbalı/dişli levha, kesilmiş halka, kayma levhası gibi levha-tipi çözümler bu işlevi farklı mekanizmalarla yerine getirir. Tasarımda ana değişkenler; fastener türü ve boyutu, ahşabın yoğunluğu ve lif yönü, kenar-uç mesafeleri ve aralık düzeni, klempleme/sürtünme, servis sınıfı-nem ve zaman bağımlı etkiler (sürünme/gevşeme) ile birleşimlerin tamamı etmenlerdir (Dietsch et al., 2018).



Şekil 3.9: Bağlantı elemanlarının CLT yapıda kullanım örnekleri (Stora Enso, 2017).

3.2.2.1. Çivi

Çivi, baş ve silindirik gövdeden oluşan, ahşap elemanları hızlı ve ekonomik biçimde birleştirmeye yarayan en yaygın metal bağlantı elemanıdır. Eurocode 5, çivileri “dübel-tipi” bağlayıcılar içinde sınıflandırır; yanal (kesme) ve eksenel (geri çekme)

etkiler altında dayanım ve rijitlik tayinini, gömme dayanımı, akma momenti ve zorunlu geometri aralıklarına dayalı açık kurallarla düzenler (TS EN 1995-1-1, 2005, Bölüm 8.2–8.3).

Kullanım alanlarında çiviler; hafif iskelet duvarların kaplama bağlantılarından (OSB/kontrplak), marangozluk detaylarına ve çelik ara levha kullanılan basit düğümlere kadar geniş bir yelpazede tercih edilir. Deneysel bulgular, vidaların aynı koşullarda çivilere kıyasla çok daha yüksek geri çekme direnci verdiğini; buna karşılık çivilerin hızlı montaj, çoklu kesme düzlemi oluşturma ve düşük maliyet avantajlarıyla yanal yük aktarımında etkili olduğunu gösterir. Bu nedenle tasarımda çiviler, geri çekmenin kritik olduğu yerlerde değil; enerjinin dağıtılarak kayma ile aktarıldığı, düzenli aralık ve yeterli kenar/uç mesafesi sağlanabilen birleşimlerde tercih edilir (TS EN 1995-1-1, 2005; Livingstone, 2018).

3.2.2.2. Tel Zimbalar

Tel zimba, iki bacaklı ince bir metal elemandır; dikdörtgene yakın baş kısmı ile bacakları, malzemeye preslenerek bağ oluşturur.

Kullanımda tel zimbalar; hafif iskelet sistemlerde kaplama-iskelet ara yüzünde, mobilya köşe birleştirmelerinde ve geniş yüzeyli tekrarlı bağlantılarda hız ve yeterli yanal taşıma kombinasyonu sunduğu için seçilir (TS EN 1995-1-1, 2005).

3.2.2.3. Cıvatalar

Cıvata; delik açılarak yerleştirilen, somun ve rondela ile sıkılan, sökülebilir ve denetlenebilir bir bağlayıcıdır. Eurocode 5'te cıvatalar, dübel-tipi model içinde hem yanal hem eksenel etkiler için boyutlandırılır. Gömme dayanımı, cıvata akma momenti, rondela ezilmesi ve delik toleransları bir arada değerlendirilir (TS EN 1995-1-1, 2005, Bölüm 8.5).

Uygulamada cıvatalar; kalın kesitli masif veya lamine (GLT) elemanlarda ve çelik plakalarla birlikte, yüksek kesme kapasitesi ve tekrarlı bakım/ayarlama olanağı istenen düğümlerde kullanılır (Livingstone, 2018).

3.2.2.4. Kavela (dowel)

Kavela; başsız, silindirik çelik pimdir ve bir veya birden çok kesme düzleminde yük aktarır. Standart, kavela çap aralığını (genellikle 6–30 mm), en küçük kenar/uç mesafelerini ve gömme dayanımı-akma momenti etkileşimine dayanan kapasite bağıntılarını açıklar (TS EN 1995-1-1, 2005, Bölüm 8.6). Bu yaklaşım, kavela-ağşap etkileşiminin ezilme ve pimde mafsallaşma gibi sünek kırılma kipleri üzerinden okunmasını sağlar. Kullanımda kavelalar, masif ve GLT çerçevelerde; gizli, uyumlu ve tekrarlanabilir bir davranış gerektiğinde öne çıkar.

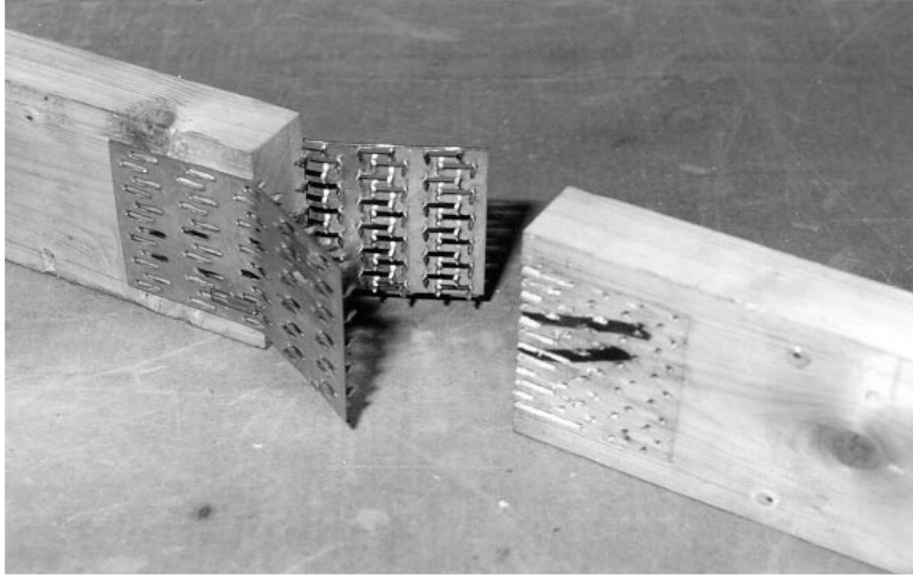
3.2.2.5. Vidalar

Vida; helisel dişleri sayesinde liflere mekanik kilit oluşturan ve hem kesme hem çekmeye çalışan bir bağlayıcıdır. Eurocode 5, geri çekme dayanımı için yoğunluk ve diş geometrisine bağlı bağıntılar verir; lif açısına göre düzeltmeler, baş çekmesi ve deney esaslı doğrulamalar (ör. EN 1382, EN 1383) vurgulanır (TS EN 1995-1-1, 2005, Bölüm 8.7). Yerli araştırmalar, odun türü, lif yönü ve lamine/masif olma durumunun vida tutma direncini güçlü biçimde etkilediğini; uygun ön delik ve yerleştirme ile gevrek baş çekmesi riskinin azaltılabildiğini ortaya koyar.

3.2.2.6. Zımbalı metal levha (punched metal plate)

Zımbalı metal levha, çok sayıda dişi bulunan ince bir çelik plakanın presle ağşaba gömülmesiyle çalışan ve özellikle çatı makaslarında kullanılan bir sistemdir (**Şekil 3.10**). Eurocode 5, bu bağlantıların ankraj parametrelerinin deneyle belirlenmesini ve makas uygulamalarındaki bindirme/kaplama ayrıntılarını açıkça tarif eder. Bu yaklaşım, tasarımcının levha geometrisi, diş yüksekliği ve ağşap yoğunluğu gibi girdileri sistematik biçimde yönetmesini sağlar.

Kullanımda zımbalı levhalar; prefabrike makaslarda yüksek üretim hızı ve tekrarlanabilir kalite sağladıkları için yaygındır. Uygulama notları, levhanın yerleşimi, bindirme boyları ve servis sınıfının hem kapasiteye hem de kalıcı şekil değiştirmelere etkisini vurgular; gerektiğinde cıvata/vida ile klemeleme uygulanarak performans artırılabilir (Livingstone, 2018; Karadelis ve Brown, 2000).



Şekil 3.10: Zımbalı metal levha uygulaması (Karadelis ve Brown, 2000).

3.2.2.7. Kayma Levhası (Shear-plate)

Kayma levhası, kesilmiş halkaya benzer bir ilkeyle çalışan; halka yerine disk/levha yerleştirilerek kesme yükünün daha homojen dağıtıldığı bir bağlantı tipidir. Eurocode 5, kayma levhasını da 8.9 kapsamında ele alır; lif yönüne göre dönüştürme katsayıları, en küçük aralıklar ve geometrik koşullar tablolaştırılmıştır (TS EN 1995-1-1, 2005).

3.2.2.8. Dişli Levha Bağlayıcılar (Toothed-plate Connectors)

Dişli levha, çok sayıda dişin presle ahşaba gömüldüğü ve çoğu zaman cıvata/vida ile klemplenen plakalı bir sistemdir. Eurocode 5, bu bağlantıların kapasitesini levhanın karakteristik taşıma gücü ile onu bağlayan dübel-tipi elemanların kapasitesinin birleşimi olarak ele alır; tip-bazlı ölçütler ve en küçük aralıklar da tablolaştırılmıştır (TS EN 1995-1-1, 2005, Bölüm 8.10).

3.2.2.9. Çekme Ankraжі (Hold-Down)

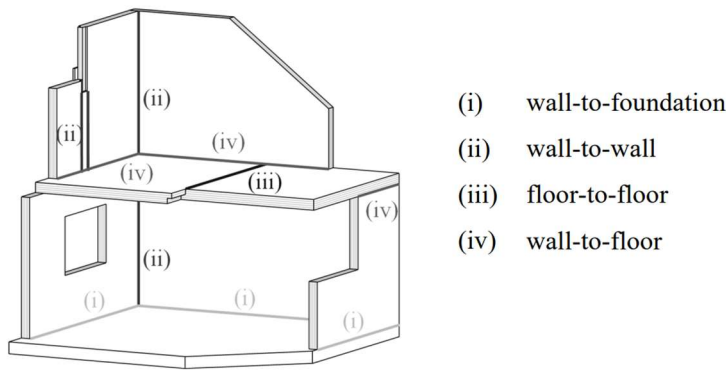
Hold-down ya da çekme ankraжі; ahşap duvarı temele ya da döşemeye sabitleyip “kaldırma” (çekme/yukarı yönlü) kuvvetlerine karşı güvenli tutuş sağlayan L biçimli bir çelik parçadır. Bir yüzü duvara, diğer yüzü beton/zemin elemanına bağlanır ve üzerindeki deliklerden çivi/vida ve ankraжіlarla sabitlenir. Böylece deprem ve rüzgâr

etkilerinde duvarın yukarı kalkması önlenir. Gerektiğinde sınırlı yatay (kesme) etkileri de taşır.

Seçim ve montajda parça boyu-kalınlığı, delik düzeni ve kullanılacak bağlantı elemanlarının türü-sayısı kapasitesi etkilidir. Tam dişli vidalar ve doğru yerleşimle rijitlik ve dayanım artar. Deneysel çalışmalar, bu tip bağlantıların rüzgâr/deprem gibi tekrarlı yüklerde aynı anda hem çekme hem kesmeye çalıştığını, bu nedenle kapasite değerlerinin test-temelli olarak alınmasının gerektiğini göstermektedir (D'Arenzo vd., 2018).

3.2.2.10. Açılı Plakalar

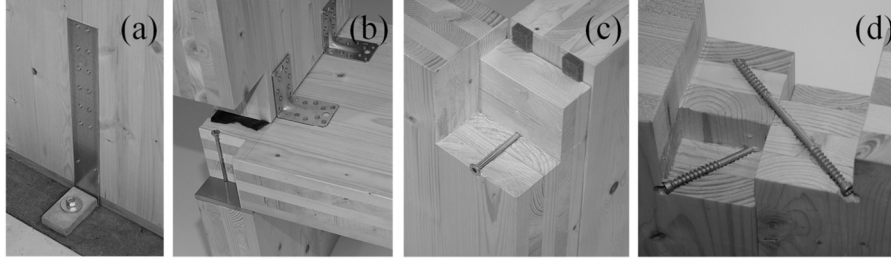
Açı levhası, L biçimindeki bir çelik parçayla ahşap paneli temele ya da döşemeye bağlayan basit bir bağlantıdır. Bir yüzü duvara, diğer yüzü zemine/döşemeye sabitlenir. Bu beton ya da ahşap olabilir. Üzerindeki deliklerden çivi/vida ve ankrajlarla tutturulur. Böylece duvarın yatay (kesme) etkileri ve yukarı-aşağı yönlü (çekme/basma) kuvvetleri güvenle aktarılır. Deneyler, bu tip bağlantıların rüzgâr ve deprem gibi tekrarlı etkiler altında hem kesme hem de çekmeye aynı anda çalıştığını ve davranışın testlerle doğrulanmasının önemli olduğunu gösterir (Tomasi and Smith, 2015).



Şekil 3.11: Bir CLT platform-çerçeve sisteminde bağlantı yapılabilecek noktalar: (i) duvar–temel bağlantısı, (ii) duvar–duvar bağlantısı, (iii) döşeme–döşeme bağlantısı, (iv) duvar–döşeme bağlantısı. (Ringhofer et al., 2018).

Uygulamada seçimi ve detaylandırması da oldukça pratiktir: parça boyu/kalınlığı, delik düzeni ve kullanılacak bağlantı elemanlarının (ör. tam dişli vidalar, çiviler, ankrajlar) türü-sayısı kapasiteyi belirler (Şekil 3.11) (Şekil 3.12). Vida/çivi sayısı arttıkça ve doğru yerleşim yapıldıkça rijitlik ve dayanım yükselir. Üreticilerin teknik

föyleri; ölçüler, önerilen vida/ankraj kombinasyonları ve karakteristik dayanımlar için yerinde bir rehberdir; projede bu değerler esas alınmalı ve kenar-uç mesafeleri gibi basit kurallara uyulmalıdır (Üretici teknik veri sayfası, 2025.; Tomasi and Smith, 2015)



Şekil 3.12: (a) Ankrajlı duvar–temel bağlantı; (b) Açılı bağlantı elemanları ve kısmi dişli kendinden kılavuzlu vidalar ile oluşturulan duvar–döşeme–duvar bağlantı; (c) Kısmi dişli kendinden kılavuzlu vidalarla sağlanan duvar–duvar kenar bağlantı; (d) Çift dişli kendinden kılavuzlu vidalarla oluşturulan duvar–duvar bağlantı hattı (Ringhofer et al., 2018).

3.2.3. Modern Ahşap Taşıyıcı Kurgusu

Ahşap yapılarda “taşıyıcı kurgu” yalnızca kesit boyutlarının ve malzeme türünün seçimi değil, yüklerin temele kadar izlediği yolun ve bu yük yolunu kuran panel, çerçeve ve düğüm noktalarının bütüncül olarak kurgulanması anlamına gelir. Geleneksel iskeletli Türk konutlarından günümüzün çok katlı ahşap yapılarında kullanılan CLT, glulam ve hibrit şemalara kadar uzanan geniş bir yelpazede, ahşap strüktürlerin depreme ve rüzgâra karşı hafif, sünek ve öngörülebilir bir davranış göstermesi bu taşıyıcı kurgunun başarısına bağlıdır (Gül ve Güzelçoban Mayuk, 2019). Bu bağlamda endüstriyel ahşap ürünlerin gelişimi, ahşap yapım kültürünü yalnızca malzeme düzeyinde değil, aynı zamanda taşıyıcı sistem tipolojileri düzeyinde de çeşitlendirmiş; perde–diyafram esaslı panel sistemleri, sandviç mantığıyla çalışan SIP ve kaset paneller, ince kesitli hafif ahşap çerçeve sistemleri ve glulam/LVL kolon–kiriş iskeletleri gibi farklı kurgular ortaya çıkarmıştır (Öztürk vd., 2021; Yüksek ve Çamlıbel, 2025). Bu tipolojiler, hem geleneksel ahşap konut mirası ile çağdaş çok katlı ahşap yapım sistemleri arasında bir süreklilik kurmakta, hem de korunacak/yeniden inşa edilecek tarihi yapıların rekonstrüksiyonunda mimari sadakat ile güncel performans ve yönetmelik gerekliliklerini bir araya getirme imkânı sunmaktadır (Gül ve Güzelçoban Mayuk, 2019).

3.2.3.1. CLT Panel Yığma Sistem

Perde duvar–diyafram yaklaşımı, basitçe, duvarların hem düşey hem de yatay yükleri üstlendiği; döşemelerin ise yatay yükleri toplayıp bu duvarlara aktardığı bir kurguya dayanır. Yani her kat döşemesi düzlem içinde bir diyafram, duvarlar ise bu diyaframın bağlandığı perde elemanlardır. Bu aktarım zincirinin sağlıklı işlemesi iki önkoşula bağlıdır:

- 1- Diyaframın yeterli düzlem-içi rijitlik göstermesi
- 2- Diyafram–duvar ile duvar–temel bağlantılarının sürekliliği.

Uygulama derlemeleri ve deneysel çalışmalar, doğru bağlanmış bir diyaframın yatay etkileri güvenli biçimde perdeler üzerinde toplayabildiğini; sistemin “yığma benzeri” ve öngörülebilir bir davranış sunduğunu göstermektedir (Breneman et al., 2016; Öztürk vd., 2021; Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

Rüzgâr veya depremden gelen yatay etkiler önce döşeme diyaframında toplanır; panel-panel ekleri, kenar kirişleri ve “toplayıcı” (collector) görevi gören elemanlar üzerinden en uygun perde çizgilerine yönlendirilir. Bu sırada kat düzlemi yatay yük aktarım uç bölgelerinde kordon (chord) kuvvetleri oluşur. Bir yüzeyde çekme, karşı yüzeyde basınç hâkim olur. Yük perdeye ulaştığında, duvar-taban ara yüzünde iki bileşen belirir:

- 1- Çekme - Hold-down bağlantı elemanı ile karşılanır.
- 2- Kayma - Açılı kesme elemanı ile karşılanır.

Tasarım hedefi, duvar tabanında kontrollü bir rocking mekanizması kurmaktır. Yani duvarın çok küçük dönmelerle enerji yutmasına izin verilirken, kalıcı ötelenme ve gevşeme riski sınırlandırılır (Breneman et al., 2016; Masroor et al., 2022). Plan şemasında süreklilik (perde hatlarının sürekliliği), simetri (burulmanın sınırlandırılması) ve yedeklilik (bir perde devre dışı kalsa dahi yük yolunun sürmesi) gözetildiğinde, yapının kat kesme dağılımları daha dengeli olur; bu da hem taşıma gücü hem servis davranışı (kat ötelemesi, titreşim) açısından güvenli bir alan açar (Breneman et al., 2016; Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

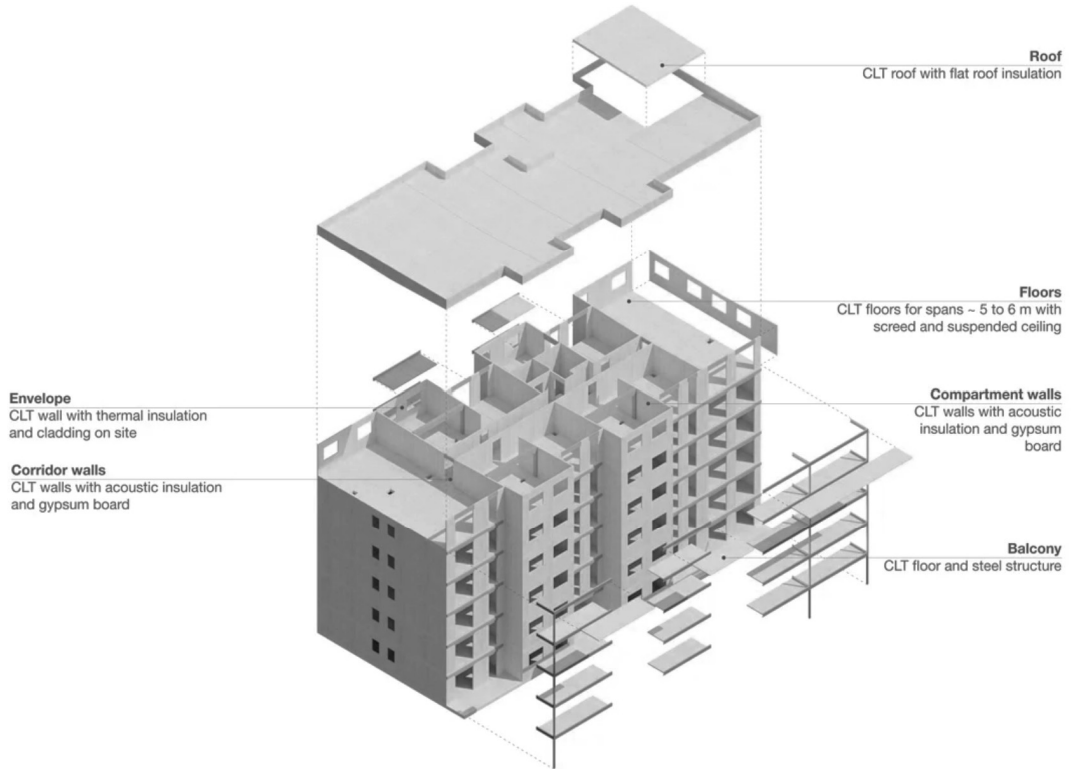
Şantiyede önce duvar panelleri konumlandırılır ve geçici çaprazlarla tutulur; ardından döşemeler serilip diyafram bağlantıları kapatılır. Her kat tamamlandıkça yapı hızla

bütünleşir; bir sonraki katın duvarları artık altta çalışan bir diyaframa oturur. Bu disiplin korunduğunda montaj hızının ve iş tekrarının belirgin biçimde iyileşmektedir.

Ön-üretim sayesinde CLT elemanlar CNC ile açıklıklar/kapılar/pencere boşlukları ve bağlantı yuvaları açılarak şantiyeye gelir; sahada kaldırma–yerleştirme–ankraj akışıyla katlar hızla kapanır (**Şekil 3.13**). CLT üretiminin ön-üretim (prefabrikasyon) doğası sahada hızlı montaj, tolerans kontrolü ve şantiye süresinin kısılması gibi belirgin avantajlar getirir. Literatürde çok katlı konut ve karma kullanım örnekleri üzerinden, farklı iklimlerde ve deprem bölgelerinde CLT’nin uygulanabilirliği gösterilmiştir (Coşkun, 2022; Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

CLT perde duvar–diyafram sistemi” şu bileşenlerden oluşur:

- 1- CLT duvar panelleri (perde)
- 2- CLT döşeme panelleri (diyafram)
- 3- Duvar–döşeme, duvar–temel ve panel–panel bağlantıları
- 4- Rijitleştirici iç/dış çekirdek veya çaprazlar (gerektiğinde)
- 5- Gerek duyulursa kompozit döşeme katmanı (örn. şap/beton topping) (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023; Coşkun, 2022).



Şekil 3.13: CLT Sistem ile kurgulanmış çok katlı yapı örneği (Stora Enso, 2017).

CLT perde duvar-diyafram sistemi tasarlanırken ekonomik açıdan kritik kalemler öne çıkar:

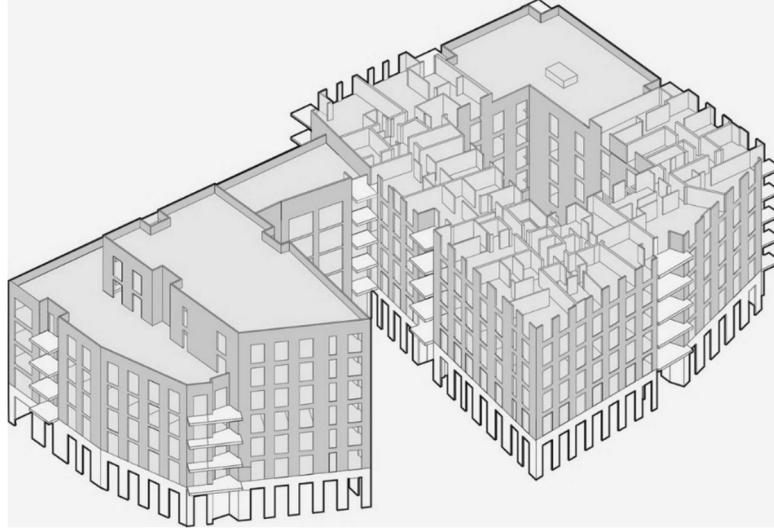
- 1- Panel kalınlığı ve kalite sınıfı
- 2- Bağlantı adedi ve tipi (HD/angle bracket/STS grubu)
- 3- Yangın/akustik için kaplama–detay düzeyi.
- 4- Lojistik ve vinç zamanı

Tasarım erken safhada diyafram modeli ve bağlantı sayısı netleştğinde metraj–maliyet öngörülleri isabetli olur (Breneman et al., 2016).



Şekil 3.14: CLT sistem ile inşa edilen ‘Dalston Works’ çok katlı yapı örneği (Web 2).

Londra Hackney’de konumlanan Dalston Works, tamamlandığı tarihte “dünyanın en büyük CLT yapısı” olarak anılan ve yüksek yoğunluklu kentsel konut üretiminde masif ahşap panellerin (özellikle CLT) mimari ve lojistik potansiyelini görünür kılan bir örnektir (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15). Proje; dış, ara ve çekirdek duvarlardan döşeme ve merdivenlere kadar tamamı CLT elemanlarla çözümlenen 121 konutluk, 5–10 kat arasında dalgalanan bir yerleşimdir. Yapının eşdeğer betonarmeye göre yaklaşık beşte bir ağırlıkta kütlesi bulunmaktadır (Lattke and Lehmann; 2007).



Şekil 3.15: CLT sistem ile inşa edilen ‘Dalston Works’ çok katlı yapı şeması (Web 2).

Sistemin genel yapısını okumaya çalıştığımız zaman, kuru montaj ve önyapım (panelizasyon) rahatlıkla okunur. CLT paneller imalathanede pencere boşlukları, buhar/yangın bariyerleri ve mekanik-elektrik kanalları hazırlanmış olarak sahaya getirilir. Böylece iskele süreleri ve ıslak iş bağımlılığı azalır. Dalston Works’te kullanılan CLT döşemelerin 140–200 mm, duvarların 100–140 mm aralığında tipik kalınlıklara sahiptir. Toplam yapısal ölçüler CLT’nin yaklaşık 2.300 ton ve 4.500 m³ ahşap kullanılmaktadır. Panellerin 111 tır seferi ile sahaya ulaştırıldığı bilgisi de montaj lojistiğinin ölçeğini yansıtır.

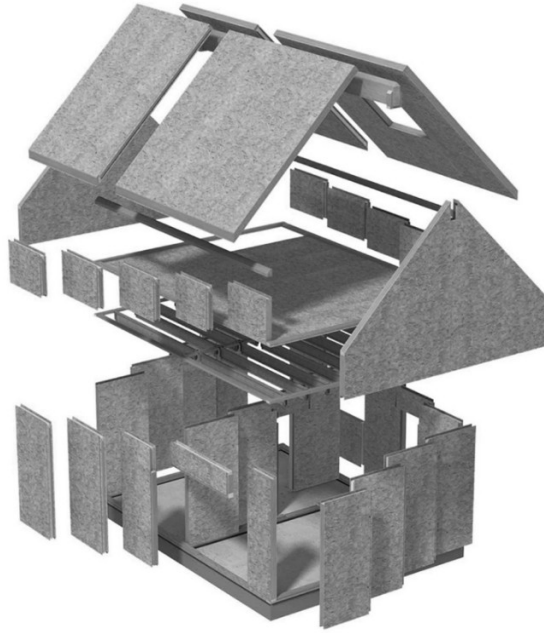
Kentsel ve düzenleyici bağlam açısından Dalston Works, Avrupa’daki çok katlı ahşap eğiliminin bir eşik projesi olarak okunabilir. CLT ve benzeri mühendislik ahşap ürünlerinin konut ölçeğinde düşük gömülü karbon, yüksek kurulum hızı ve düşük şantiye trafiği gibi gerekçelerle benimsenmesi 2010’lar boyunca hızlanmıştır (Lattke and Lehmann, 2007).

3.2.3.2. SIP (Structural Insulated Panel) ve Kaset Paneller

SIP (Structural Insulated Panel); iki rijit yüzey levha (çoğunlukla OSB/kontrplak) ile arada yer alan ısı yalıtım çekirdeğinin (EPS, PUR vb.) yapıştırılarak tek bir kompozit panel hâline getirildiği, panel halinde üretilen bir duvar/çatı-döşeme elemanıdır. Yüzey levhalar, basınç ve çekme gerilmelerini taşıırken köpük çekirdek kesme rijitliği ve ısı direnci sağlar. Bu nedenle SIP, hem taşıyıcı kabiliyet hem de kabuk-yalıtım

bütünleşmesini birlikte sunan bir “sandviç” sistemdir (Kermani and Hairstans, 2006; Panjehpour vd., 2018).

Kaset panel tanımı ise fabrika ortamında birincil ahşap kiriş/başlık elemanları ile alt-üst kaplamaların bir “kutu” kesiti oluşturacak biçimde birleştirildiği, boşluklu ve hafif bir panel tipolojisidir. Sistemin en belirleyici özelliği endüstrileştirilmiş üretimdir. Paneller fabrikada, yüzey levha–ısı yalıtım çekirdeği laminasyonu ve CNC kesimleri tamamlanmış olarak hazırlanır. Kapı/pencere boşlukları, kenar dolulukları ve birleşim aksesuarları önyapımda entegre edilir. Şantiyede su basmanı ve eşik detayları hazırlandıktan sonra paneller vinçle yerlerine alınır. Hava–buhar sızdırmazlığı bant/conta ve köpüklerle sağlanır. Taban/üst kirişlere ve ankrajlara mekanik olarak bağlanır. Süreç, panel arası tolerans ve diyafram sürekliliğinin kontrolüyle tamamlanır; tekrarlı modüller sayesinde montaj süresi belirgin biçimde kısılır (Mullens and Arif, 2006; Kermani and Hairstans, 2006).



Şekil 3.16: SIP paneller ile kurgulanmış yapı şeması (Kinch, 2017).

SIP ve kaset paneller, mimari tasarım ile yapım teknolojisi arasında “parça–bütün” ilişkisini yeniden kuran iki temel panelize sistemdir (**Şekil 3.16**). İlkinde kabuk ve yalıtımın tek gövdede birleşmesi, ikincisinde ise taşıyıcı ağ ile kaplama diyaframının kompozitliği öne çıkar. Her iki yaklaşım, çok disiplinli bir ayrıntı çözümü ve üretim–montaj zincirinin erken entegrasyonunu gerektirir. Doğru detay ve kalite güvencesi

sağlandığında, hız–enerji–performans bileşkesinde güçlü bir alternatif sunarlar (Kermani and Hairstans, 2006; Panjehpour vd., 2018).

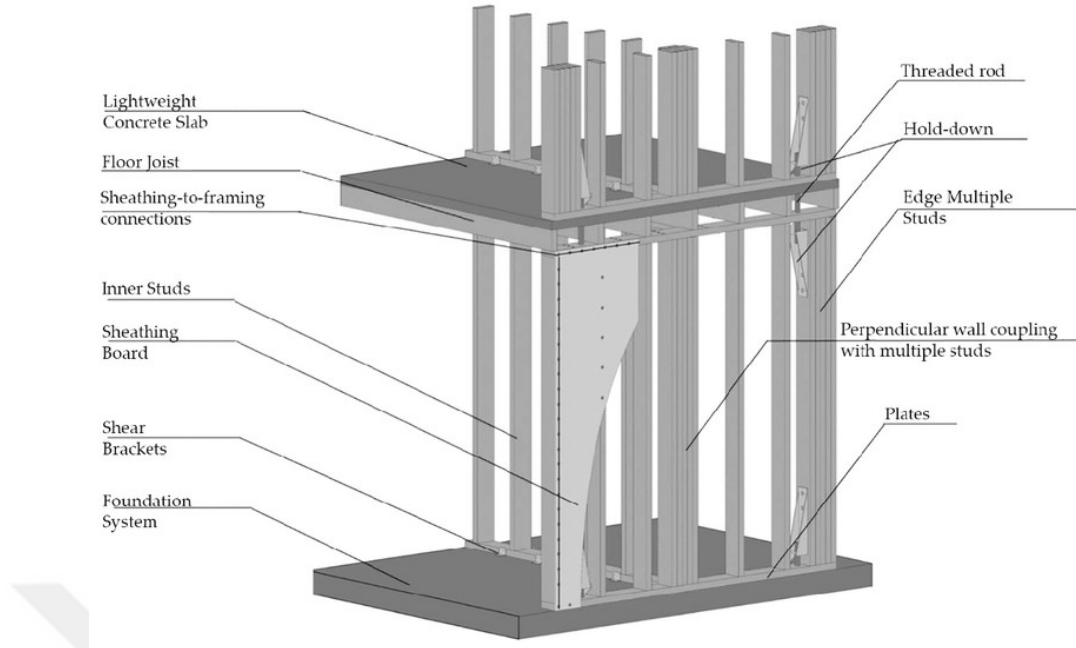
3.2.3.3. Hafif Ahşap Çerçeve Sistem (Woodframe)

Hafif ahşap çerçeve, duvar, döşeme ve çatı yüzeylerinin ince kesitli ahşap iskeletle birlikte çalıştığı panel–diyafram esaslı bir yapım sistemidir (**Şekil 3.17**). İskelet; dikmeler (stud), baş–alt kayıtlar (plates), kiriş/mertek ve kuşaklardan oluşur. Ahşap esaslı levhalar (OSB, kontrplak, lif–alçı bazlı levhalar vb.) tek ya da çift yüz kaplandığında duvarlar “perde” gibi davranır. Döşeme ve çatı yüzeyleri ise yatay yüklerin iletimini üstlenen diyaframlara dönüşür. Bu nedenle sistem, tek tek elemanlardan çok, kaplama–iskelet etkileşimi ve bağlantı düzenleriyle tanımlanan bir bütün şekilde davranmaktadır (Öztürk vd., 2021; Yücesoy vd., 2024). Ahşabın düşük özgül ağırlığı ve endüstriyel levha ürünleriyle uyumu, sistemi hızlı, kuru ve önyapıma (prefabrik/panelize üretim) elverişli kılar (Çalışkan vd., 2019).

Sistemin taşıyıcı kurgusu iki düzlemde okunur: düşey yük taşıyan çerçeveler ve yatay yüklere çalışan perde/diyaframlar. Perde duvarlarda yatay dayanım ve rijitlik:

- 1- Dikmelerin ve kirişlerin kalınlığı
- 2- Kaplama türü/kalınlığı
- 3- Çivi/raptiye ölçüsü ve aralığı (kenar–orta)
- 4- Uç dikmelerde hold-down ve taban ankrajı
- 5- Panel boy–en oranı
- 6- Açıklık (kapı/pencere) oranları gibi parametrelere bağlıdır (Öztürk vd., 2021; Yücesoy vd., 2024).

Deneyisel çalışmalar, levha kalınlığı ve çivileme aralığı sıklaştıkça “racking” kapasitesinin anlamlı biçimde arttığını; açıklık oranının ve zayıf ankrajın ise rijitlik–enerji yutma üzerinde kayba yol açtığını gösterir. Bu bulgular, hafif çerçevenin “detay–performans bağı”na dayalı tasarlanması gerektiğini açıkça ortaya koyar (Öztürk vd., 2021; Yücesoy vd., 2024).



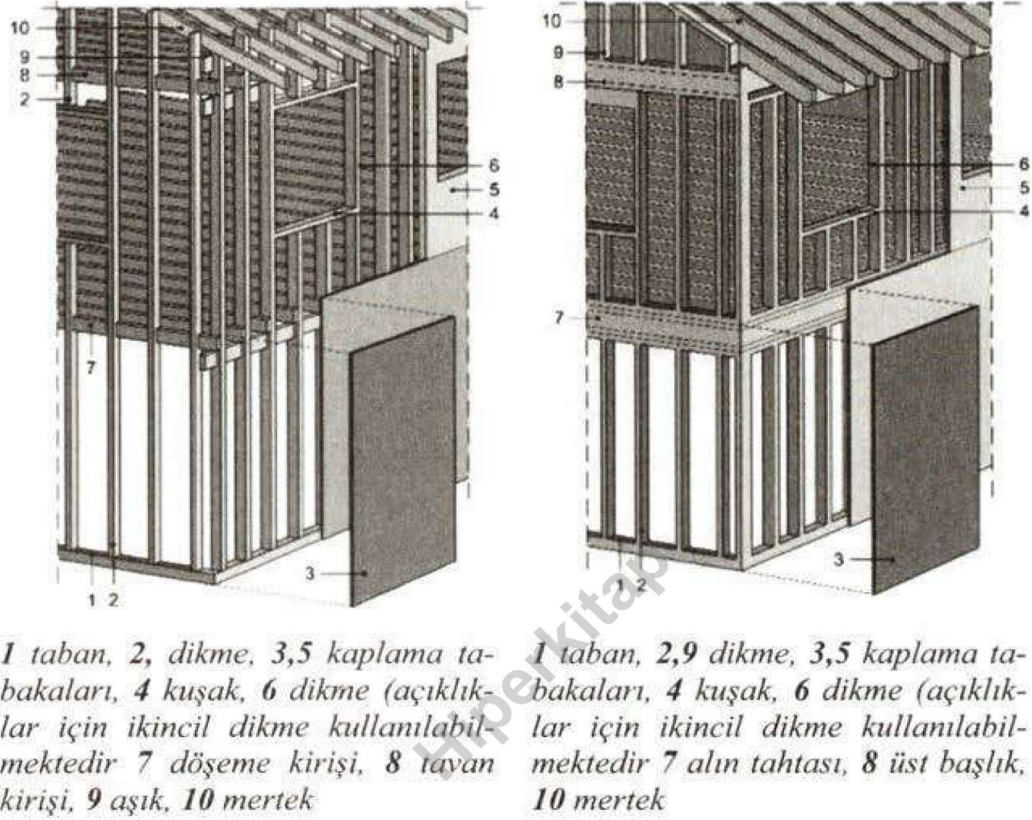
Şekil 3.17: Hafif çerçeve sistem (Benedetti et al., 2022).

Yapım mantığı, atölye ile şantiyenin birbirini tamamlamasına dayanır. Duvar, döşeme ve çatı panelleri atölyede (ya da sahada) hazırlanıp montajla birleştirilir ardından paneller birleştirilir. Bütün parçalar bir araya geldiğinde kabuk sürekliliği oluşur ve diyaframlar kesintisiz yük yolu kurar. Bu panelizasyon, işçilik süresini ve sahadaki belirsizlikleri azaltarak inşa hızını yükseltir. Ahşap konutlarda önyapımın üretkenliği artırmakta ve klasik duvar örme sistemlerine göre sürenin kısılması mümkün olabilmektedir. Ayrıca, platform çerçeve mantığıyla tekil duvar panellerinin sahada birleşerek “sürekli duvar diyaframı” oluşturması, yatay yük aktarımında kritik bir üstünlüktür (Dhonju et al., 2017).

Balloon ve platform, hafif çerçevenin iki klasik türevidir ve ayırım temelde dikmelerin sürekliliğinden doğar. Balloon çerçevede dikmeler iki kat boyunca kesintisizdir ve ara döşeme kirişleri uzun dikmelere askıyla bağlanır. Süreklilik, düşey boşlukların yangın davranışında “bacalaşma” riskini artırabileceğinden ek fire-blocking önlemleri gerektirir. Ayrıca uzun dikme tedariki ve ön üretimle (panelizasyon) uyum sınırlıdır.

Platform çerçevede ise her kat bağımsız bir platform olarak inşa edilir: önce döşeme platformu kurulur, sonra o platform üzerinde duvarlar yükseltilir ve üstte bir sonraki platform yapılır. Kısa eleman kullanımı, montaj kolaylığı ve kat düzleminde doğal bir yangın kesintisi (fire-stop) sağlaması nedeniyle platform, modern konut üretiminde

baskın hale gelmiştir (Ahşap malzemeli konut teknolojisi, Yalın Yayıncılık, 2014). Balloon–platform montaj sıralarını görsel olarak karşılaştıran referanslar, platformun prefabrik parçalarla daha uyumlu olduğunu açık biçimde gösterir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Platform sistem ve baloon sistem karşılaştırması (Ahşap malzemeli konut teknolojisi, Yalın Yayıncılık, 2014).

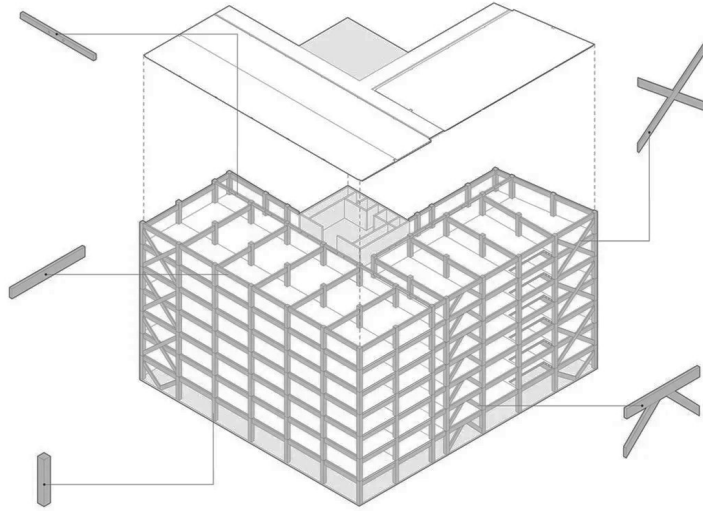
Hafif çerçeve sistemin avantaj ve dezavantajlarına baktığımızda; başlıca avantajları için kuru yapım doğası ve panelizasyon/önyapım olduğunu öncelikli olarak söyleyebiliriz. Küçük ekiplerle hızlı montaj, hafiflik sayesinde temel ve kaldırma ekipmanı gereksiniminin azalması, atölye koşullarında kalite kontrol ve sahada daha öngörülebilir iş programı başlıca avantajlardır. Katmanlı kabuk tasarımıyla ısı–akustik performans potansiyeli yüksektir. Yapının gömülü karbonu düşüktür ve ahşap malzeme karbon depolayabilir. Güncel uygulama yazınında platform çerçevenin kısa eleman kullanımı ve montaj kolaylığı sayesinde konutta baskın olduğu ve önyapımla birlikte toplam üretkenlikte belirgin kazanımlar sağlanabilmektedir (Secu et al., 2015; Araujo et al., 2022).

Dezavantajlar, esasen detay hassasiyeti ve parametre duyarlılığı ile ilgilidir. Nem–buhar denetimi, yangın fire-blocking uygulamaları, kabuk sürekliliği ve

geçiş/sızdırmazlık ayrıntıları titizlik istemektedir. Aksi hâlde dayanıklılık ve iç mekân sağlığı olumsuz etkilenir. Yanal davranış kaplama türü-kalınlığı, çivileme aralığı/ölçüsü ve ankraj–hold-down düzenine son derece duyarlıdır. Zayıf ankraj veya seyrek çivileme racking kapasitesini hızlıca düşürür (Öztürk vd., 2021). Deney–hesap yöntemlerindeki farklılıkların tasarımda kullanılan dayanım/rijitlik değerlerini değiştirebildiği de vurgulanmaktadır (Rinaldin et al., 2016).

3.2.3.4. Ahşap Kolon-Kiriş (Post and Beam)

Ahşap kolon–kiriş (post-and-beam) sistem, düşey yüklerin başlıca kolon ve kiriş elemanlarıyla taşındığı; yatay kuvvetlerin ise moment aktaran birleşimler ya da çaprazlı çerçeveler aracılığıyla karşılandığı iskelet temelli bir yapım sistemidir (**Şekil 3.19**). Taşıyıcılık levha-kaplama ile duvar kabuğunun birlikte çalışmasına değil, çerçeve elemanlarının kesit kapasitesine ve birleşim davranışına dayanır. Bu yönüyle hafif ahşap çerçeveden (light-frame) ayrılır. Güncel uygulamalarda kolon ve kirişler çoğunlukla tutkallı tabakalı ahşap (GLT/glulam) veya LVL gibi mühendislik ürünlerinden üretilir. Bu sayede daha geniş açıklıklar düzenli kolon ızgaraları ve esnek plan kurguları mümkün olur. Kuru montaj ve ön üretime elverişliliği şantiye sürecini kayda değer şekilde kısaltır (Kayakıran, 2018; Coşkun, 2022).



Şekil 3.19: Post-and-Beam sistem çok katlı yapı örneği (Stora Enso, 2017).

Post-and-beam yapıda planın iskeleti kolon ızgarası ve kiriş açıklıklarıyla kurulur. Düşey yükler bu çerçeve üzerinden temele, yatay etkiler ise iki temel stratejiyle yönetilir:

- 1- Moment aktaran kiriş–kolon birleşimleri ile oluşturulan moment çerçeveler (cephe geçirgenliği ve esnek plan için uygundur)
- 2- Çaprazlı (braced) çerçeveler ile rijit çekirdeklerin (merdiven–asansör) birlikte çalışması (Lattke and Lehmann, 2007).

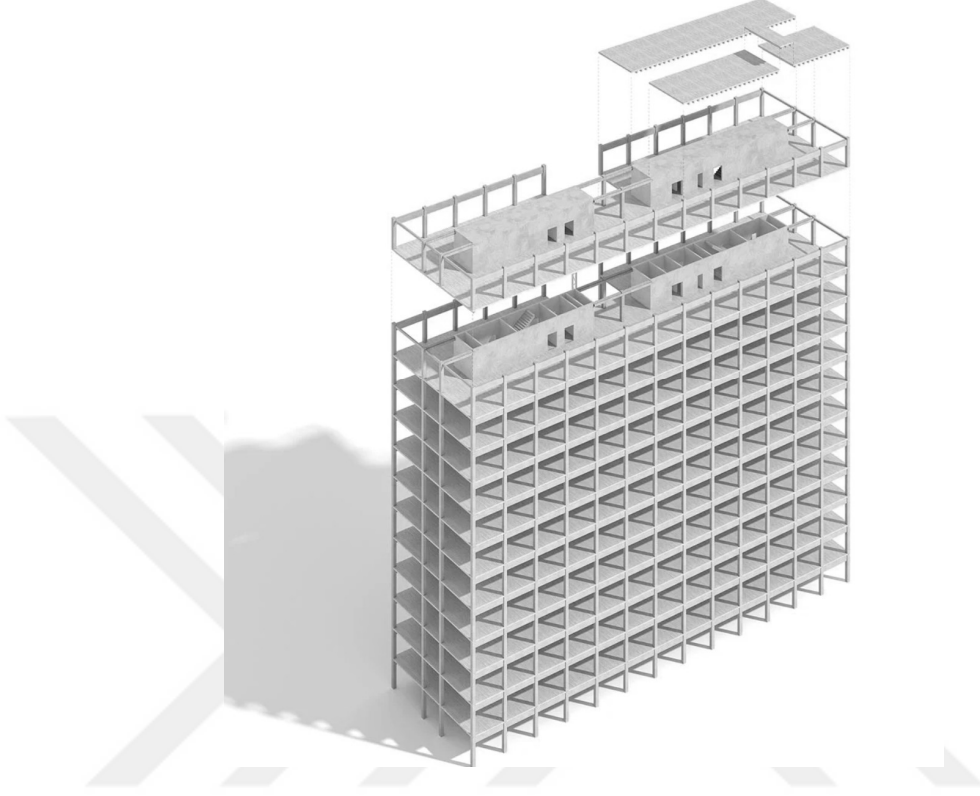
Avrupa konut örneklerini derleyen çalışmalar, çok katlı ahşap yapılarda iskelet temelli çözümlerin CLT veya panel sistemlerle melez kurulduğunu; örneğin GLT/LVL çerçevelerin yatay diyafram olarak CLT döşemelerle birlikte çok katlı konutlarda başarıyla kullanıldığını göstermektedir (Lattke and Lehmann, 2007; Çelik, 2022).

Sistemin üretim mantığı kuru yapım anlayışına dayanır. Kolon ve kirişler atölyede boyutlandırılır; bağlantı boşlukları, çelik plaka yuvaları ve delikler önyapım aşamasında işlenir. Şantiyede vinç destekli kuru montaj ile çerçeve dizileri hızlıca kurulabilmektedir. Ardından ikincil sistemler (döşeme panelleri, çatı makasları, çaprazlar) eklenir. Bu süreç, zaman ve kalite kontrolü açısından tolerans yönetimini öne çıkarmaktadır (Kayakıran, 2018; Coşkun, 2022).

Post-and-beam, taşıyıcı duvar zorunluluğunu ortadan kaldırdığı için geniş ve esnek mekânlı programlara doğal olarak uyumludur. Bu sebeple spor salonları, pazar yerleri, kültür/ibadet yapıları, eğitim yapıları ve çok katlı konutlarda ortak alanlar yapılmasına elverişlidir.

Güncel post-and- beam sistemiyle üretilmiş yapılarda yaygın melez kurgu; betonarme çekirdek (merdiven–asansör, yatay rijitlik ve yangın güvenliği), GLT (glulam) kolon–kiriş iskelet (açıklık ve plan esnekliği) ve CLT paneller (döşeme diyaframı ve/veya perde duvar) bileşimini birlikte kullanılabilmektedir (**Şekil 3.20**). Ayrıca duvarlar için SIP panellerin kullanıldığı örnekler de bulunmaktadır. Bu şema, çekirdeğin dayanım/rijitlik ve kaçış gerekliliklerini güvenceye alırken, ahşap iskelet ve panellerle kuru yapım–önyapım hızını, düşük kütleyi ve malzeme verimini sahaya taşır. Kat diyaframı olarak CLT'nin, GLT çerçeveye birlikte yanal yük aktarımını düzenlemesi ve ara açıklıkları büyütmesi mimari esnekliği artırır. Bazı projelerde döşemede ahşap–beton kompozit (TCC) tercih edilerek titreşim/akustik ve sehim kontrolü güçlendirilir. Ancak sistem başarısı, malzeme arayüzlerinin (çelik ankrajlar, nem–buhar ve yangın örtüleri, ısı köprüleri) doğru detaylanmasına ve tolerans yönetimine bağlıdır. Avrupa örneklerini derleyen çalışmalar, bu tür melez şemaların çok katlı konutlarda performans (rijitlik, yangın, akustik) ve şantiye verimliliği arasında sürdürülebilir bir

denge kurduğunu; Türkiye kaynaklı derlemeler ise GLT/CLT'nin betonarme ile tamamlayıcı bir tasarım dili oluşturduğunu vurgular (Lattke and Lehmann, 2007; Çelik, 2022).



Şekil 3.20: Betonarme çekirdek, GLT kolon kiriş ve CLT panellerin birlikte kurgulandığı hibrit sistem (Stora Enso, 2017)

4. TARİHİ AHŞAP YAPILARIN ÖNEMİ VE ÖZELLİKLERİ

Tarihi ahşap yapılar, yalnızca barınma işlevi görmüş strüktürler değil; belirli coğrafyalarda yüzyıllar içinde olgunlaşmış bir zanaat bilgisinin, malzeme kültürünün ve gündelik yaşam pratiklerinin somut taşıyıcılarıdır. Bu yapıların korunması büyük ölçüde “yapma bilgisinin” sürdürülebilmesine yani usta-çırak zincirinin kesintisiz aktarımına bağlıdır. Türkiye bağlamında geleneksel yapı ustalarının tanınması, yetkinliklerinin belgelendirilmesi ve uygulama ağırlıklı eğitim süreçlerinin güçlendirilmesi mimari mirasın nitelikli biçimde yaşatılmasının ön koşullarından biri olarak vurgulanmaktadır. Bu vurgu, ahşap mirasın değerini yalnızca tekil eserler düzeyinde değil; üretim kültürü ve işgücü ekosistemiyle birlikte ele almak gerektiğini gösterir (Balcı vd., 2022).

Anadolu’nun pek çok yerleşiminde izlenen tipolojik şema zeminde taş örgü veya hatıllı kâgir, üst katlarda ise hımış/bağdadi sistemli ahşap iskelet şeklinde kurgulanmaktadır. Bu durum ahşap yapıların bölgesel malzeme-iklim uyumunun ürünü olduğunu kanıtlar. Bursa–Cumalıkızık konutları, bu yerel uyumun hem mekânsal kurgusunu (sofa-oda düzeni, çıkmalar, saçaklar) hem de yapım tekniğini (hatıllı taş zemin, ahşap karkas içinde kerpiç veya bağdadi dolgu) açık biçimde sergileyen örneklerdir (Perker and Akıncıtürk, 2011). Bu bütüncül kurgu, ahşabın “hafif, onarılabilir ve dönüştürülebilir” doğasını gündelik yaşama taşıyan bir inşa kültürü üretmiştir.

Malzemenin fiziksel ve yapısal özellikleri, bu tarihsel tipolojiyi açıklayan temel etmendir. Ahşap iskelet sistemler, düşük birim ağırlıkları, çok parçalı strüktürel düzenleri ve mafsallı/donatılı birleşim detayları sayesinde yatay yüklere karşı sünek ve enerji sönümleyici davranış gösterebilir. Türkiye ölçeğinde hımış ve bağdadi sistemlerin deprem etkileri altındaki performansının betonarme ve yığma örneklerle kıyasla görece daha az hasar üretmesi hem kuramsal hem sayısal analizlerle ortaya konmuştur (Doğan, 2010).

Tarihi ahşap duvar kesitleri aynı zamanda bir “iklim kabuğu” olarak okunmalıdır. Safranbolu’da yapılan alan çalışmaları ve hesaplamalar, belirli kalınlık ve katmanlaşmalarda—örneğin kerpiç kâgir veya bağdadi sıvalı hımış—ısı geçirgenlik

katsayısı (U) bakımından elverişli değerlere ulaşılabilirdiğini göstermiştir (Pehlivan ve Sedes, 2019).

Bütün bu güçlü yanlara karşın, ahşap biyolojik ve nemle ilişkili bozulmalara duyarlıdır. Uygun kuruluk oranları sağlanmadığında deformasyon, yüzey bozulmaları ve biyolojik saldırılar hızlanır. Bu nedenle servis koşullarına bağlı nem yönetimi ahşap yapıların ömrünü doğrudan belirleyen bir teknik eşiğe dönüşür (Görgün ve Ünsal, 2023). Tarihsel şehir dokularında birbirine bitişik ahşap yapıların yoğunluğu büyük yangınları kolaylaştırmış; İstanbul ve Çanakkale örneklerinde olduğu gibi imar düzenlemelerini dahi etkilemiştir (Erdoğan, 2019).

4.1. Türkiye’deki Ahşap Yapı Stoğu

Yapı stoğu kavramı, en basit tanımıyla, belirli bir coğrafi alanda ve belirli bir tarihte mevcut olan tüm bina varlığını ifade eder. Ancak bu yalın tanım, konunun özünü ahşap yapılar için tam olarak karşılamaz. Güncel literatürde yapı stoğu; bina sayısı, toplam kat alanı, kat adedi gibi nicel göstergelerin yanı sıra taşıyıcı sistem türü, malzeme, yapım yılı, kullanım amacı gibi çok sayıda nitel parametrenin bileşimi olarak ele alınmaktadır (Öcal ve İnce, 2012; Ay ve Eroğlu Azak, 2021). Ayrıca bu konu literatürde “mevcut yapı stoğu” kavramı, deprem riski ve kentsel dönüşüm politikalarıyla yakından bağlantılı biçimde ele alınmaktadır. Türkiye’de nüfusun önemli bir kısmının yüksek deprem tehlikesi altındaki bölgelerde yaşaması, stokun yaşı ve taşıyıcı sistem türü gibi parametreleri kritik hâle getirmiştir (Öcal ve İnce, 2012). Çalışmalar, yapı stoğunun önemli bir bölümünün 2000 yılı öncesi, eski deprem yönetmeliklerine göre inşa edildiğini, buna karşın 2000 sonrası yeni yapım sürecinin betonarme sistemlerin yoğunlaştığı, bina başına düşen daire sayısının arttığı ve apartmanlaşmanın hızlandığı bir dönemi temsil ettiğini göstermektedir (Ay ve Eroğlu Azak, 2021).

Bu genel çerçeve içinde ahşap yapılar, Türkiye yapı stoğu içerisinde sayısal olarak çok küçük ama niteliksel açıdan önem verilen bir kısmı temsil eder. Ulusal ölçekli analizlerde, ikamet amaçlı binalar arasında betonarme çerçeve sistemlerin açık ara baskın olduğu, yığma yapıların ikinci büyük grubu oluşturduğu fakat çelik ve ahşap sistemlerin ise “diğer taşıyıcı sistemler” başlığı altında oldukça sınırlı bir yüzdeye sahip olduğu görülmektedir (Ay ve Eroğlu Azak, 2021). Bu durum, ahşap yapıların

bugün için stok içindeki payının düşük olduğunu göstermektedir. Fakat mevcut ahşap stokun sayıca az olmasına rağmen mimari, kültürel ve çevresel açıdan ayrı bir başlıkta ele alınması gerekmektedir.

“Ahşap yapı stoğu” kavramı, geniş anlamıyla taşıyıcı sisteminde ana malzeme olarak ahşabın kullanıldığı tüm yapıların toplamını ifade eder. Ancak Türkiye bağlamında bu stok, diğer malzeme gruplarından farklı olarak güçlü bir kültürel bellek ve zanaatkârlık boyutu taşır. İstanbul’daki ahşap ev kullanıcıları üzerine yapılan çalışmalar, yakın geçmişe kadar Anadolu’da konut stokunun büyük bir bölümünün ahşap ağırlıklı olduğunu fakat yangınlar, mülkiyet değişimleri ve betonarme yapıların “modern” ve “güvenli” algısıyla hızla yayılması sonucu bu stoğun önemli kısmının yok olduğunu ortaya koymaktadır (Kaplan, 2025). Yine de İstanbul Boğaziçi yalıları, tarihi konak ve köşkler, geleneksel mahalle dokuları gibi örnekler bu stoğun günümüze ulaşmış ve kent hafızasında güçlü bir yer kaplayan bileşenleridir.

Öte yandan, ahşap yapı stoğunu yalnızca tarihi yapılar üzerinden okumamak gerekir. Güncel malzeme ve sistemler de bu stoğun bir parçası olarak ele alınmalıdır. Ahşap, tarihsel olarak geleneksel konut mimarisinin temel taşıyıcı malzemelerinden önemli bir tanesiyken, bugün aynı zamanda endüstriyel mühendislik ürünü olarak da karşımıza çıkmaktadır. Hafif çerçeve sistemler, yapıştırma lamine elemanlar ve CLT paneller, çağdaş ahşap yapı tasarımının önemli bileşenleri hâline gelmiş ve Eurocode 5 gibi yönetmelikler bu sistemlerin statik, yangın ve deprem tasarımı için kapsamlı çerçeveler sunmuştur (Çelik ve Şakar, 2022). Türkiye’de ise tutkallı tabakalı ahşap ve benzeri teknolojilerin yapı sektöründe yeterince benimsenmediği, talep azlığı ve mevzuat belirsizlikleri gibi etkenlerle ahşap taşıyıcı sistemlerin betonarme karşısında geri planda kaldığı belirtilmektedir (Avlar, 2008; Avlar ve Ercoşkun, 2012).

4.1.1. Ahşap Yapı Stoğunun Zamansal Katmanları

Osmanlı döneminde özellikle büyük kentlerde konut üretiminde ahşap, 19. yüzyıl sonuna kadar baskın taşıyıcı malzeme olarak kullanılmıştır. İstanbul’da son dönem Osmanlı konutları incelendiğinde, ahşap karkas sistemle inşa edilmiş yapıların cephe düzeni, plan şemaları, kat sayıları ve sokak ilişkileri açısından oldukça zengin bir çeşitlilik sergilediği; buna karşılık günümüze ulaşan örneklerin büyük çoğunluğunun

19. yüzyıl ve sonrasına tarihlendiği görülür (Yağcı, 2019). Bu durum, mevcut ahşap yapı stoğunun önemli ölçüde “geç dönem” ürünlerinden oluştuğunu göstermektedir.

Bu durum yalnızca İstanbul’la sınırlı değildir. Geleneksel ahşap evlerin taşıyıcı sistemleri ülke genelinde iklim, topoğrafya ve orman varlığı gibi etkenlere bağlı olarak belirgin biçimde farklılaşır. Ilıman ve ormanlık bölgelerde, çoğunlukla kârgir bodrum üzerine oturan ahşap karkas sistemler yaygındır. Duvar kurgusu ve dolgu malzemesine bağlı olarak hımış, bağdadi gibi farklı isimlendirmeler ortaya çıkar (Çobancoğlu, 2016). Kuzeydoğu Anadolu’da yığma ahşap (kütük) sistemler, Doğu Karadeniz’de yoğun ahşap karkas evler, Ege ve Akdeniz’de düz çatılı ve daha masif görünümlü yapılar, iç bölgelerde ise taş–ahşap karışımı hımış sistemli konutlar belirgin bölgesel tipolojiler oluşturur (Çobancoğlu, 2016). Böylece Türkiye’deki ahşap yapı stoğu, tek tip bir “geleneksel ev” imgesinden çok, farklı bölgesel alt stokların bileşiminden oluşan çoğul bir yapı sergiler.

Bu bölgesel alt stoklar, somut yerleşim örnekleri üzerinden okunduğunda daha net hale gelir. Cumalıkızık’ta geleneksel konut dokusu içinde yer alan evlerin önemli bir kısmında, eğimli topoğrafyaya oturan taş bodrum katlar üzerine ahşap karkas ve kerpiç ya da tuğla dolgulu üst katlar yer alır (Perker ve Akıncıtürk, 2011). Sokakların organik dokusunu izleyen bu yapılar, hem deprem etkilerine karşı daha esnek davranan bir taşıyıcı sistem, hem de üretim ve yaşam alanlarının bir arada kurgulandığı kırsal bir konut tipolojisi ortaya koyar (Perker ve Akıncıtürk, 2011).

Artvin Camili (Macahel) havzasında görülen geleneksel konutlar, farklı bir ahşap stok karakteri ortaya koyar. Yoğun orman dokusu ve dik topoğrafyanın hâkim olduğu bu bölgede, kısmen taş temele oturan yığma ahşap (kütük) duvarlar, geniş saçaklar ve çoğu kez konutla bütünleşik ahır ve ambar gibi eklentiler yaygındır (Karahan ve Saatçi, 2020).

Güneş kazanımının denetimi, doğal havalandırma imkânları ve malzemenin ısı özellikleri dikkate alındığında, Safranbolu’daki ahşap yapı stoğu, yalnızca korunması gereken bir kültürel miras değil aynı zamanda çağdaş tasarım ve rekonstrüksiyon süreçlerinde referans alınabilecek performatif bir veri tabanı niteliği kazanır (Gezer, 2013).

Trakya bölgesinde Kırklareli kent merkezindeki geleneksel konutlar üzerinden yapılan envanter çalışması, ahşap yapı stoğunun karma sistem kullanımlarını da ortaya koyar.

Şehir merkezinde incelenen 110 konutun büyük bölümünde, dış duvarlarda ahşap iskelet ile tuğla veya kerpiç dolgudan oluşan sistemlerin tercih edildiği, buna ek olarak taş ve yığma bileşenlerle karma sistemlerin de yoğun biçimde kullanıldığı belirlenmiştir (Gençer ve Yüksek, 2024).

Sonuç olarak Türkiye’deki ahşap yapı stoğu; orman varlığı, iklim ve topoğrafya gibi doğal etkenlerle ve üretim biçimleri, ekonomik koşullar ve kültürel pratikler gibi sosyo-ekonomik dinamiklerin bir arada okunabildiği çok katmanlı bir veri alanı sunar. Cumalıkızık, Safranbolu, Camili, Kırklareli gibi yerleşimler, bölgesel tipolojilerin ve performans özelliklerinin temsilcisi; İstanbul gibi büyük kentler ise üslup çeşitliliği, modernleşme baskısı ve koruma sorunlarının yoğunlaştığı düğüm noktaları olarak görülebilir (Perker ve Akıncıtürk, 2011; Gezer, 2013; Çobancaoğlu, 2016; Karahan ve Saatçi, 2020).

4.1.2. Ahşap Yapı Stoğunun Bölgesel Katmanları

Makro ölçekte bakıldığında, Türkiye’deki ahşap konut stoğu birkaç ana bölgesel karakter altında toplanabilir. Karadeniz, Marmara’nın doğusu ve Kuzeydoğu Anadolu kuşağı, ahşap yapı stoğunun yoğunlaştığı alanlardır; Ege ve Akdeniz kıyılarında ahşap daha sınırlı, çoğunlukla çatı ve iç mekân elemanı düzeyinde; İç ve Doğu Anadolu’da ise kısıtlı orman varlığı nedeniyle taş ve kerpiç ağırlıklı, ahşabın daha az taşıyıcı rol üstlendiği çözümler görülür (Sezgin, 2016).

Karadeniz kuşağında, özellikle Doğu Karadeniz ve Kuzeydoğu Anadolu’da, ahşap yapı stoğu çoğu zaman yığma ahşap (kütük) ya da kısmen taş temelli, üst katları ahşap duvarlı konutlar biçiminde karşımıza çıkar. Camili (Macahel) havzasındaki geleneksel konutlar, bu tipolojinin karakteristik bir örneğidir. Bu bölgede dik topoğrafya, yoğun yağış ve zengin orman dokusu, kısmen taş temele oturan, üst katları yatay veya dikey kütüklerle örülmüş, geniş saçaklı ve çoğu zaman konutla bitişik ahır ve ambar birimlerinden oluşan konutlar üretmiştir (Karahan ve Saatçi, 2020).

Marmara bölgesinde, özellikle Bursa çevresinde, geleneksel sokak dokusuyla birlikte okunan ahşap yapı stoğu, taş bodrum + ahşap karkas üst kat kombinasyonunun tipikleştiği bir diğer örneği oluşturur. Cumalıkızık’ta ayakta kalan konutlar, dar ve eğimli sokaklara uyum sağlayan, çoğunlukla iki ya da üç katlı, alt katı taş yığma, üst

katları ahşap iskelet ve kerpiç/tuğla dolgu sistemli yapılardır (Perker ve Akıncıtürk, 2011).

Safranbolu'daki ahşap konut stoğu ise taş bodrum ve ahşap karkas üst katlardan oluşan fakat yerleşim ölçeğinde çok daha net bir hiyerarşi ve kompozisyon sergileyen bir başka alt grubu temsil eder. Merkez (çarşı) ve bağlar yerleşimleri, konutların parsel içi konumlanışı ve sokaklara göre yönlenmesi açısından birbirinden ayrışırken her iki alanda da çıkmalı cepheler, geniş saçaklar, ahşap doğramalar ve iç sofalı plan şemaları ortak bir dil üretir (Gezer, 2013).

Yaklaşık 2000 geleneksel Safranbolu evinin 800 kadarının yasal koruma altında olması, bu alt stoğun niceliksel olarak da okunabilir ve temsil gücü yüksek bir örnek oluşturduğunu gösterir (Gezer, 2013).

Trakya ve Batı Karadeniz'de, ahşap yapı stoğu çoğu zaman karma sistemler üzerinden gelişmiştir. Karabük ili Ovacık ilçesindeki kırsal yerleşimler incelendiğinde, dış duvarlarda ahşap iskelet ile tuğla veya kerpiç dolgunun birlikte kullanıldığı; yer yer taş temel ve duvarların da sisteme eklendiği bir yapı dili ortaya çıkar (Çetin, 2021).

İç Anadolu ve kısmen Doğu Anadolu'da, yapı stoğunda ahşabın payı belirgin biçimde azalır ancak tamamen ortadan kalkmaz. Bu bölgelerde, taşıyıcı sistem çoğu zaman taş veya kerpiç yığma üzerinden tanımlanırken ahşap kirişler, döşeme elemanları, çatı ve örtü sistemlerinde, ayrıca kapı-pencere doğramalarında yoğun biçimde kullanılır (Sezgin, 2016; Uşma, 2021).

Ege ve Akdeniz kıyılarında, ahşap taşıyıcı sistem kullanımının görece sınırlı olduğu görülür. Buradaki kıyı yerleşimlerinde taş yığma konutlar baskın olmakla birlikte, çatı makasları, döşeme kirişleri, saçaklar ve iç mekân bölücülerini düzeyinde ahşabın belirgin izleri sürülür (Sezgin, 2016).

Metropol ölçeğinde, özellikle İstanbul'daki ahşap konut stoğu, hem tipolojik hem de sembolik açıdan ayrı bir alt grubu ifade eder. Burada ahşap konutlar, çoğu zaman iki veya üç katlı, taş bodrumlu, ahşap karkas üst katlı, çıkmalı ve cumbalı cepheleriyle tanımlanır. Plan şemalarında iç veya orta sofa kurgusu, harem-selamlık ayrımları ve bahçe-sokak ilişkisi belirgin rol oynar (Çobancaoğlu, 2016; Yağcı, 2019).

Boğaziçi yalıları, sur içi mahalleleri ve kıyı yerleşimleri gibi alt bölgelerde, aynı taşıyıcı sistem dili farklı cephe oranları, süsleme yoğunlukları ve parsel genişlikleri üzerinden yeniden yorumlanır.

4.2. Tarihi Ahşap Yapıların Restorasyonu

Tarihi ahşap yapılar, sadece “eski evler” değildir. Aynı zamanda kentsel morfolojinin, el işçiliğinin ve yerel malzeme bilgisinin sürekliliğini somutlaştıran birer bilgi deposudur. Özgün malzeme-teknik birlikteliği, doku içinde tekrarlanarak bir kimlik dili oluşturur. Bu dil yapıya yapılacak her müdahalenin ölçüsünü de belirler. Bu yüzden koruma söylemi özgünlük (authenticity), bütünlük (integrity), geri döndürülebilirlik ve asgari müdahale ilkelerini merkeze alır (Önge, 2020). Sözü edilen ilkeler, ahşap elemanların yerinde onarımını ve gerektiğinde aynı malzeme-teknikle tamamlanmasını destekler. Yeni eklerin “okunabilir” ama baskın olmayan bir dille tasarlanmasını gerektirir (Önge, 2020).

Ahşap mirasın önemi, risk ve dayanım perspektifinden de okunmalıdır. İstanbul’daki geleneksel ahşap konut stoğu üzerine çalışmalar deprem kuşağında ahşabın hafifliği, sünekliği ve onarılabilirliği nedeniyle tarih boyunca tercih edildiğini buna karşılık yangın ve bakımsızlık risklerinin sürekli yönetilmesi gerektiğini belirtir (Yağcı Ergun ve Mazlum, 2016). Dolayısıyla bu yapıların değerini korumak yalnızca “estetik” değil afet riskini azaltan önleyici bakım ve doğru malzeme-teknik seçimleriyle ilişkilidir (Yağcı Ergun ve Mazlum, 2016).

4.2.1. Tarihi Ahşap Yapıların Rekonstrüksiyonu

Rekonstrüksiyon, koruma literatüründe “artık var olmayan bir yapının güvenilir belgelere dayanarak yeniden inşası” olarak tanımlanır. Özellikle ahşap mirasta, malzemenin onarılabilir ve değiştirilebilir doğası; rekonstrüksiyonu, kuramsal ve pratik tabanda ele alır. ‘Hangi koşullarda yeniden yapım doğrudur?’ ‘Hangi bilgi eşiği gereklidir?’ ‘Yeni ile eski nasıl ayırt edilebilir?’ gibi sorular Türkiye’de 1960’lardan itibaren koruma kuramı ve mevzuat tartışmalarında rekonstrüksiyon, kabul sınırları ve etik ilkeleriyle beraber ele alınmıştır. Venedik Tüzüğü gibi metinler akademi ve uygulama camiasında tartışılmıştır (Ersen, 2014). Bu tartışmalar, yitirilen yapıların

“kent belleği ve kimlik sürekliliği” açısından ne zaman ve nasıl ihya edilebileceğine odaklanmaktadır (Ersen, 2014).

Ahşap yapıların rekonstrüksiyonu sadece teknik bir üretim süreci değil aynı zamanda kanıta dayalı bir karar pratiğidir. Kararın meşruiyeti üç dayanakta toplanır:

- 1- Yeterli dokümantasyon (plan, kesit, cephe, fotoğraf, arşiv yazışmaları, izler)
- 2- Çevresel/bağlamsal gereklilik (doku sürekliliği, parsel ve siluet ilişkileri, tipolojik boşluğun doldurulması)
- 3- Anlam değeri (sembolik ve toplumsal bellek).

İstanbul’un kayıp sivil mimarlık örneklerinden Ethem Paşa Konağı üzerine yapılan ayrıntılı proje ve değerlendirme, rekonstrüksiyon kararının bu üç ayakta nasıl gerekçelendirildiğini ve disiplinler arası kanıt setinin nasıl kurulduğunu gösterir (Karahan, 2019). Aynı doğrultuda, Küçüksu Mihrişah Vâlîde Sultan Mescidi için hazırlanan rekonstrüksiyon projesi, yapının kent ölçeğindeki bellek ve kimlik değerine vurgu yapar ve “yitik” bir ögenin bütünsel çevre okumalarıyla yeniden yerine konmasının gerekçelerini açıklar (Eriş, 2014). Bu örnekler, “yeterli kanıt” ve “kentsel/semantik bağlam” olmaksızın rekonstrüksiyonun tercih edilmemesi gerektiğini, tercih edildiğinde ise izlenebilir ve tartışılabilir bir bilgi zeminine oturtulmasını şart koşar (Ersen, 2014; Eriş, 2014; Karahan, 2019).

Koruma söylemiyle uyumlu olarak ahşap rekonstrüksiyonlarında dört ilke öne çıkar:

- 1- Asgari müdahale
- 2- Geri döndürülebilirlik
- 3- Ayırt edilebilirlik/okunabilirlik
- 4- Belgelendirme ve izlenebilirlik.

Ersen’in (2014) rekonstrüksiyon anlamındaki düşüncelerine göre rekonstrüksiyonun istisnai bir yöntem olduğunu fakat bilimsel belgeler yeterliyse ve kentsel/toplumsal değer açıksa meşru bir seçenek haline gelebildiğini ortaya koyar. Bu durumda yeni elemanların, özgün unsurları taklit etmeyen ama uyumlu bir dille tasarlanması ve ayırımın gerekli noktalarda okunabilir kılınması beklenir.

Rekonstrüksiyonun için sürece baktığımız zaman ilk adımı, güvenilir kanıtlarla yapının hangi tarihsel evresinin yeniden kurulacağına karar vermektir. Arşiv fotoğrafları, plan-kesitler, kadastro/imar kayıtları, eski rölöveler ve yerinde izler sistematik biçimde toplanır. Restitüsyon raporu yalnız çizim değil, bu kanıtların

bağlamsal yorumudur (Ersen, 2014; Karahan, 2019). Bunu tipolojik ve yapısal kararlar izler. Hıymış/bağdadi oranları, hatıl ve düğüm düzeni, dolgu türü ve kesitler bölgesel örneklerle karşılaştırılır. Sismik davranış literatürü, özgün yapım dilinin güncel mühendislik hesaplarına çevrilmesine rehberlik eder (Aktaş vd., 2014). Malzeme seçiminde amaç birebir kopyadan çok “eşdeğerlik”tir; tür, yoğunluk ve yüzey karakteri bakımından uyum aranır; biyolojik bozulma riskleri drenaj, havalandırma ve seçici emprenye gibi önleyici kararlarla yönetilir (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020).

Kabuk tasarımında hıymış ve kaplamalı çerçeve duvarların ısı-nem davranışı dikkate alınır ve özgün katmanlaşma ile geri döndürülebilir, nefes alan iyileştirmeler arasındaki denge bilimsel ölçütlerle kurulur (Alkan, 2024). Birleşimlerde geleneksel marangozluk esastır fakat gerek görüldüğü zamanlarda zorunlu modern takviyeler görünmez, sökülebilir ve belgeli bir şekilde kullanılabilir (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020). Şantiyede ise “prototipleme–deneme montaj–asıl montaj” sıralaması, numaralandırma ve ayrıntılı fotoğraf/video ile kalite güvencesi sağlanması ve sürecin bütünüyle kayıt altına alınması esastır (Karahan, 2019).

4.3. Modern Yapım Sistemlerinin ve Malzemelerin Restorasyonda Kullanımı

Tarihi yapılarda “modern” müdahaleyi tanımlamak, yalnızca yeni bir malzeme eklemek olarak bakılmaması gereken bir durumdur. Restorasyon bağlamında modern sistem ve malzemeler; asgari müdahale, geri döndürülebilirlik, ayırt edilebilirlik ve uyumluluk gibi koruma ilkeleriyle birlikte düşünülür. Dolayısıyla tartışmanın odağı, özgün dokuya zarar vermeden taşıyıcılığı artıran, yapı fiziğini iyileştiren, kullanım işlevini güncelleyen ve belgelendirilebilir çözümler üretmektir. ICOMOS ilkeleri de bu doğrultudadır (Tellioğlu ve Satıcı, 2023). Bu çerçeve malzeme seçiminden uygulama tekniğine, şantiye kurgusundan performans doğrulamasına kadar bütün bir süreci kapsar (Tellioğlu ve Satıcı, 2023).

Modern sistemlerin restorasyona dâhil edilmesinin meşruiyeti, koruma kuramındaki temel ölçütlere dayanır:

- 1- Yapıya getirilen ekler en az müdahale ile gerekli işlevi sağlamalı
- 2- Yeni ile eski ayırt edilebilir olmalı
- 3- Malzeme ve detay düzeyinde fiziksel–kimyasal–mekanik uyumluluk aranmalı

- 4- Mümkin olduğunda geri dönüş (reversibility) gözetilmelidir (Tellioğlu ve Satıcı, 2023).

Güncel literatür, çağdaş eklerin bu ilkelerle bağdaşır biçimde tasarlandığında tarihi çevreyi canlandırabildiğini ancak biçim, malzeme ve teknoloji bakımından “ayırt edilebilir” kalmasının gerektiğini yineler (Kurnaz, 2024). Bu yaklaşım, eklerin işlevsel gereksinimleri karşılarken özgün değerleri gölgelemesini önler (Tellioğlu ve Satıcı, 2023; Kurnaz, 2024).

Modern malzeme ve sistem tipolojisi, restorasyon ile rekonstrüksiyon uygulamalarında kullanılan çözümleri; mühendislik ürünü ahşapları (GLT/lamine, CLT, LVL), kompozit takviyeleri (FRP şerit/kumaş ve gömülü çubuklar), paslanmaz çelik bağlantı–gergi sistemlerini ve geri döndürülebilir yapıştırma/enjeksiyon tekniklerini kapsayacak biçimde tanımlamaktadır. Amaç, asgari müdahale ve uyumluluk ilkelerini korurken yapısal güvenlik ve yapı fiziki performansını ölçülebilir biçimde iyileştirmektir (Tellioğlu ve Satıcı, 2023). Bu çerçevede GLT/CLT gibi ahşap temelli sistemler, özellikle döşeme–çatı diyaframı oluşturma ve açıklık geçme problemlerinde hafiflik–rijitlik dengesiyle öne çıkmaktadır. Bağlantı ayrıntıları tersinir kurgulandığında ayırt edilebilirlik ve belgelendirilebilirlik de sağlamaktadır (Longarini vd., 2018). Tipolojinin seçiminde temel ölçütler; malzeme–detay uyumluluğu, geri sökülebilirlik, belgeye dayalı biçimsel sadakat ve şantiye/işletme süreçlerinde izlenebilirlik olarak özetlenebilmektedir (Longarini et al., 2018; Tellioğlu ve Satıcı, 2023).

Günümüzde tutkallı tabakalı ahşap (GLT) ve çapraz lamine ahşap (CLT) gibi mühendislik ürünü ahşap ürünler hem yeni yapıda hem de tarihi kabuk içinde ek/kabuk içi taşıyıcı olarak kullanılabilir. Bu ürünler, düşük özgül ağırlık, iyi sismik performans ve kuru montaj gibi özelliklerle “hafif, hızlı ve temiz” müdahale imkânı sağlamaktadır. Üstelik çeşitli restorasyon projelerinde ahşap–ahşap uyumu, malzeme eşdeğerliği ilkesini destekler (Yücel, 2019; Kayakıran, 2019). Özellikle zayıf döşemelerin düzlem içi rijitliğini artırmak için CLT panellerinin mevcut kirişlerle kompozit çalışacak şekilde bağlanması son yıllarda yaygın bir araştırma ve uygulama hattı oluşturmuştur (Yücel, 2019).

Karbon, cam veya bazalt lifli polimerler (FRP); ahşap elemanların eğilme, kesme ve basınç davranışını iyileştirmede etkin çözümler sunmaktadır. FRP şeritlerin,

kumaşların veya kuşaklamaların epoksiyle dıştan yapıştırılması ya da çubukların derz/kanal içinde bağlanması gibi teknikler hem taşıma kapasitesini hem de sünekliği artırabilmektedir (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020). Ahşapta FRP kullanımı, paslanma riskinin olmaması ve düşük ek ağırlık gibi avantajlar sunarken aderansın uzun dönem dayanımı, ısı–nem etkileri ve geri sökülebilirlik gibi noktalar restorasyon alanında yarar sağlamaktadır (Kılınçarslan ve Şimşek Türker, 2020).

Tarihi yığma ve karma sistemlerde çelik gergiler, plakalar ve bağlantılar, duvarların bütünlük çalışmasını sağlayan geri çekilebilir birer “iskele” işlevi görebilir. İstanbul Mısır Çarşısı restorasyonunda ahşap hatılların paslanmaz çelik plakalarla birleştirilmesi ve cephe geriye çekilmiş paslanmaz gergilerle stabilizasyon sağlanması, modern–geleneksel birlikteliğine iyi bir örnektir (Ökten, 2021). FRP kuşaklamalar ise çoğu kez sıva altında kalarak görsel etkiyi azaltır (Ökten, 2021).

Cam; saydamlığı sayesinde yeni ile eski arasındaki görsel ilişkiyi “örtmeden” kurabilen bir malzemedir. Trabzon Kızlar Manastırı’ndaki yeniden işlevlendirme sürecinde, seçici cam kullanımı ile özgün mekânsal akış korunurken güncel dolaşım ve güvenlik ihtiyaçlarının karşılanabildiği gösterilmiştir (Kutlu ve Bekar, 2021). Cam tavan/örtü çözümleri de erken Cumhuriyet’ten bugüne uzanan bir süreklilik içinde, yapıya çağdaş eklerin ayırt edilebilirliği ilkesini besleyen örnekler üretmiştir (Kutlu ve Bekar, 2021).

4.3.1. Mühendislik Ahşabının Restorasyonda Kullanıldığı Örnekler

Yurt dışı ve Türkiye literatüründe, mühendislik ahşaplarının (özellikle GLT ve CLT) tarihi yapılarda hem rekonstrüksiyon hem de güçlendirme amaçlarıyla kullanıldığı uygulamalar yer almaktadır. Bu örneklerde ortak olan kısım hafiflik–rijitlik dengesi ve uyumluluk ilkelerini korurken, şantiye sürecini hızlandırmaktır. Bu kapsamda CLT/ahşap panellerle çatı düzleminin diyafram olarak çalıştırılması ya da glulam kiriş/dilimlerle özgün geometride kubbe/örtülerin yeniden kurulması başvurulan stratejilerdir (Caneparo, 2014; Longarini et al., 2018; Mirra et al., 2023;).

4.3.1.1. Santa Maria di Collemaggio Bazilikası (L'Aquila, İtalya)

Santa Maria di Collemaggio, Orta İtalya'daki önemli taş yığma (masonry) bazilikalardan biridir. İbadet mekânını geniş açıklıklı ahşap çatı örter. Deprem sonrası koruma çalışmalarında ahşap-temelli farklı çatı çözümleri üretilmiş ve tartışılmıştır (Mirra et al., 2023).

Uygulanan yaklaşım mevcut çatı kaplamasının üzerine kontrplak/CLT panellerin ek bir yatay katman olarak yerleştirilmesi ve bu tabakanın hem kendi içinde hem de çevredeki ahşap/duvar elemanlarına tersinir bağlantılarla bağlanmasıdır. Böylece çatı düzlemi düzlem-içi rijitliği yüksek bir yatay yük dağıtım elemanına dönüştürülmüştür. Panellerin kalınlığı ile vida/çivi aralıkları sayısal modeller üzerinden hesap edilmiştir ve uygulama, hızlı ve izlenebilir bir şantiye akışıyla gerçekleştirilmiştir (Mirra et al., 2023).

Taş yığma kiliselerde çatı düzleminin esnek kalması ve elemanların birbirine ve duvarlara zayıf bağlanması, deprem altında dışa devrilme mekanizmalarını kolayca tetikler. Ahşap-temelli diyaframlar hafifliği sayesinde duvarlara ek kütle bindirmeden kutu davranışını güçlendirir. Ayrıca kullanılan yeni mühendislik ahşabı yapının karakteriyle uyumludur. Mevcutta var olan eski ahşapla da malzeme-davranış ilişkisi doğaldır. Ayrıntıları tersinir ve belgelendirilebilir olduğu için koruma etiğiyle uyumludur. Mirra ve arkadaşlarının (2023) sunduğu hesap/sayısal değerlendirmeler panel kalınlığı ve bağlantı aralığı arttıkça yatay rijitlik ve enerji sönümünün anlamlı biçimde yükseldiğini, böylece kutu davranışının belirginleştiğini göstermektedir. Ayrıca yöntemin şantiye lojistiği üstünde olumlu etkisi vardır. Paneller prefabrike edilebilir, yerinde işçilik gerektirmez ve çatının özgün kesit mantığını “boğmadan” performans ekler. Sonuç olarak yeni mühendislik malzemeleri ile kurgulanan çözüm hem yapısal güvenliği artırır hem de koruma ilkeleri (asgari müdahale, ayırt edilebilirlik, tersinirlik) ile uyumlu kalmaktadır (Mirra et al., 2023).

4.3.1.2. Teatro Petruzzelli Tiyatro Binası (Bari, İtalya)

Teatro Petruzzelli, Bari'nin simge opera/konser salonudur; 1991'deki yangından sonra 2008'de restorasyondan sonra yeniden açılmıştır. İç mekânın en karakteristik ögesi olan iç kubbe, tipolojik/akustik süreklilik gözetilerek mühendislik ahşap malzemesi olan GLT ile yeniden üretilmiştir (Caneparo, 2014).

Yangında kaybedilen “ahşap+bağdadî” iç kabuk, tutkallı tabakalı ahşap (GLT/glulam) ile modüler olarak yeniden kurulmuştur. Yeniden üretilen kubbenin her bir dilimi CAD/CAM tabanlı süreçlerle fabrikada sayısal kontrollü biçimde kesilmiş/frezelenmiş ve parçalar NC kodlarıyla üretimden çıkıp kuru montaj ile sahada birleştirilmiştir. Glulam kullanımı aynı açıklıkta daha ince kesitler ve boyutsal kararlılık getirerek hem strüktürel güvenliği hem de geometrik doğruluğu sağlamıştır (Caneparo, 2014).

Yangın sonrası yeniden kurmada hedef, geometri sadakati ile yapısal/akustik performansı birlikte kubbenin tekrardan inşasıdır. GLT malzeme, düşük özgül ağırlığı sayesinde yığma kabuğa binen ek ağırlığı sınırlarken aynı zamanda eğrisel eleman üretimine elverişlidir. Kubbe gibi çift eğrilikli yüzeylerde tolerans kontrolünü fabrika koşullarında mümkün kılar. Tasarım→imalat→montaj zinciri, sahadaki işçilik risklerini ve hata payını azaltmaktadır. Parça-parça kodlanmış üretim akışı, belgelendirilebilirlik ve izlenebilirlik sağlar. Bu sayede yeni kubbe, özgünün biçim dilini okutan ama ayırt edilebilir nitelikte modern bir ahşap sistem olarak iç mekâna yerleşir. Ayrıca GLT’nin rijitlik/taşıma açısından sağladığı kapasite, akustik gereksinimlerle de uyumlu bir kabuk davranışına olanak tanır. Bakım-onarım döngüsünde modüler parçalar kolay erişim/ikame avantajı sunar (Caneparo, 2014).

4.2.1.3. Valentino (Torino) Şatosu (Turin, İtalya)

17. yüzyıla tarihlenen Valentino Şatosu, Po nehri kıyısındaki saray-kale kompleksidir. Köşe kuleleri ve geniş ahşap çatı/kubbe sistemleriyle bilinmektedir. 1980’lerde yapının belirli kısımlarında müdahalelerde bulunulmuş ve bu müdahaleler için lazer tarama (TLS) kullanılmıştır (Bertolini Cestari et al., 2016). Bu müdahalelerde tüm örtü değiştirilmemiş, fakat yerel onarım ve ikame gereken noktalarda mühendislik ahşabı devreye alınmıştır. Bağ kirişi başlarındaki çürümüş kısımlar GLT bloklarla yenilenmiş ve bu bloklar cam elyaf çubuklarla (GFRP) takviye edilmiştir. Duvarla temas yüzeyine yerleştirilen neopren ara katman ile hem nem yönetimi hem de hava dolaşımı sağlanmıştır. Ayrıca çatı kaplama tahtaları özgün makaslarla birlikte kabuk gibi ortak çalışan bir sistem olarak düşünülmüş, kaplama eklemeleri ve bağlantı sürekliliği sayesinde düzlem-içi rijitlik yükseltilmiştir (Bertolini Cestari et al., 2016).

Yapılan çalışmalar ve analizler doğrultusunda en büyük hasarın duvar içine gömülü başlıklarda su sızıntısı ve biyotik etkilerden kaynaklandığı fark edilmiştir. Dolayısıyla

doğru seçenek tüm sistemi değiştirmek değil yerel, hafif, uyumlu ve tersinir/izlenebilir bir çözümdür. Glulam+GFRP kombinasyonu, masif ahşaba malzeme-davranış eşdeğerliği sunarken, GFRP çubuklar yerel çekme-eğilme kapasitesini artırır. Neopren ara katman ise ahşabı nemden ayırır ve servis ömrünü uzatmaktadır (Bertolini Cestari et al., 2016).

4.4. Restorasyon ve Rekonstrüksiyon Müdahalelerinde

Uluslararası İlkeler ile Türkiye’de Hukuki–İdari Çerçeve

Restorasyon ve rekonstrüksiyon alanında müdahale ölçütlerinin, sınırlarının ve kısıtlarının belirlenmesi hem uluslararası koruma kuramına hem de ulusal mevzuata aynı anda yaslanır. Çağdaş koruma anlayışı, bir yandan Cesare Brandi’nin “sanat eseri ve tarihî belgenin birlikte korunması” yaklaşımını temel alırken, diğer yandan Venedik Tüzüğü, Burra Tüzüğü ve Nara Belgesi gibi metinlerle somutlaştırılmış etik ilkelere dayanır (Can, 2012; Ersen, 2015). Bu çerçevede koruma, yalnızca fiziksel onarım değil aynı zamanda özgünlük, bütünlük, süreklilik ve belgesellik gibi değerlerin gözetildiği ve müdahalenin dozajının bilinçli olarak sınırlandırıldığı bir kararlar bütünü olarak kabul edilir (Toprak, 2017; Beşkonaklı, 2019).

Venedik Tüzüğü, anıtların hem sanat eseri hem de tarihî belge olarak korunması gerektiğini vurgulamaktadır. Müdahalede temel amacın bu “belge niteliğini” güçlendirmek ve asla çarpıtmak olmadığını belirtir (Doğan, 2020). Eksik kısımların tamamlanmasında bütünle uyumlu bir tasarım istenir. Ancak yeni eklerin, yapının tarihî tanıklığını yanıltmaması için özgünden ayırt edilebilir olması şartı getirilir (Doğan, 2020; Tozun, 2020). Yeniden inşa işlemlerinden “peşinen vazgeçilmesi” gerektiği, bu tür rekonstrüksiyonların ancak güçlü ve güvenilir belgelere dayanıyorsa tartışılabilir olduğu belirtilir (Uçar ve Örmecioğlu, 2019; Heinz, 2019). Bu yaklaşım, rekonstrüksiyonun ilke olarak istisna olduğunu ve belgesizlik durumunda özellikle sakıncalı görüldüğünü gösterir.

Burra Tüzüğü ve onu izleyen yorumlar, koruma kararlarını “kültürel önem” kavramı etrafında toplar. Tarihî, estetik, toplumsal ve bilimsel değerlerin bir arada değerlendirilmesini, müdahaleden önce bu önemlerin açıkça tanımlanmasını ve her müdahalenin bu öneme katkısının sorgulanmasını ister (Toprak, 2017; Tunalı, 2023). Burada “minimum müdahale”, “uyumluluk”, “ayrışabilirlik” ve “geri

döndürülebilirlik” anahtar kavramlardır. Yalnızca yapısal bütünlük ve kullanım için zorunlu olan müdahalelere izin verilmesi, yeni malzemelerin hem teknik hem estetik açıdan uyumlu olması, fakat yine de gerektiğinde okunabilir biçimde eski olandan ayrılması beklenir (Toprak, 2017). Nara Belgesi ve onu tartışan literatür, özgünlük kavramını yalnızca fiziksel dokuya indirgemeyip kullanım, işlev, konum, geleneksel yönetim biçimleri ve “yerin ruhu” gibi unsurları da özgünlüğün bileşenleri arasında sayar (Önge, 2018; Eraslan, 2019; Saygıner, 2024). Böylece koruma kararlarında sadece malzeme ve biçim değil, yapının yaşama biçimleriyle kurduğu ilişki de müdahaleyi sınırlayan bir ölçüt haline gelir.

Bu uluslararası ilkeler, Türkiye’deki hukukî-idari çerçeveye birlikte okunduğunda müdahale sınırlarının nasıl somutlaştığı daha net görünür. Türkiye’de kültür varlıklarının korunmasına ilişkin temel yasal metnin ilk hâli 1983’te yürürlüğe giren ve sonrasında çeşitli değişiklikler geçiren 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu’dur (Özel, 2016; Dülger, 2018). Kanun; korunması gerekli taşınır ve taşınmaz kültür varlıklarını tanımlamakta, bunlarla ilgili işlem ve faaliyetleri düzenlemekte ve bu konuda ilke ve uygulama kararları alacak kurumların görevlerini belirlemektedir (Göğebakan, 2017; Baran, 2024). “Koruma” kavramı, taşınmaz kültür varlıkları için bakım, onarım, restorasyon, işlev değiştirme gibi bir dizi müdahale türünü kapsayacak şekilde tanımlanır; böylece, en basit bakım işleminden en kapsamlı restorasyona kadar tüm müdahaleler yasal denetime konu edilir (Aygörmez, 2020).

Kanun ve ona bağlı yönetmelikler, tescil, sit ilanı, koruma alanı belirleme, proje onayı ve uygulama denetimi süreçlerini ayrıntılandırır; rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinin hangi esaslara göre hazırlanacağını ortaya koyar (Çetin, 2019; Baran, 2024). Taşınmaz kültür varlıklarının gruplandırılması, bakım ve onarımları ile ilgili 660 sayılı İlke Kararı yapıları gruplara ayırarak her grup için öngörülen müdahale düzeylerini ve proje hazırlama esaslarını tanımlar. Tarihî yapılarda yapılabilecek değişikliklerin türü ve derecesi, büyük ölçüde bu kararın çizdiği sınırlar içinde kalır (Kültür ve Turizm Bakanlığı [KTB], 1999; Şimşek, 2023). Böylece uluslararası metinlerde soyut etik ilke olarak tarif edilen “minimum müdahale”, “belgesiz rekonstrüksiyondan kaçınma” ve “ayrışabilir ekler” gibi ölçütler, Türkiye bağlamında kurul kararları ve proje onay süreçleri üzerinden pratik kısıtlara dönüşür.

Türkiye’deki yasal çerçeve, aynı zamanda devletin ve özel kişilerin sorumluluklarını da belirleyerek, koruma yükünü yalnızca kamuya bırakmayan fakat özel mülkiyetin karar alanını da ciddi biçimde sınırlayan bir yapı oluşturur (Koçak, 2017; Gögebakan, 2017). Tescilli yapılarda yapılacak her türlü bakım, onarım, güçlendirme ve işlev değişikliği, ilke olarak koruma kurulları tarafından onaylanmış projelere dayanmak zorundadır. Bu koşul, restorasyon ve rekonstrüksiyon uygulamalarında “kişisel tercih” alanını daraltan temel kısıt olarak karşımıza çıkar (Aygörmez, 2020; Baran, 2024).

4.4.1. Rekonstrüksiyon İçin Özel Koşullar

Rekonstrüksiyon, koruma kuramı içinde en tartışmalı müdahale türlerinden biri olarak kabul edilir. Restorasyonun, özgün malzeme ve strüktürün azami ölçüde korunmasını ve eksik kısımların sınırlı bir ölçüde tamamlanmasını hedeflediği ve rekonstrüksiyonun ise büyük ölçüde kaybedilmiş bir yapının veya bölümün yeniden inşasına yöneldiği hatırlandığında bu müdahale türü için daha sıkı ölçütler tanımlanmasının nedeni anlaşılır hale gelir (Can, 2012; Ersen, 2015). Venedik Tüzüğü’nün arkeolojik alanlara ilişkin maddelerinde, yeniden inşa işlemlerinden “peşinen vazgeçilmesi” gerektiği, yalnızca mevcut fakat dağılmış parçaların bir araya getirilmesini ifade eden anastylosis’e izin verilebileceği belirtilir. Rekonstrüksiyona mesafeli duruşun gerekçesi çoğu zaman yeterli belgelemenin bulunmaması ve bunun yaratacağı “tarihî sahicilik” sorunudur (Uçar ve Örmecioğlu, 2019; Heinz, 2019; Doğan, 2020).

Bununla birlikte, savaş ya da afet sonrası tahrip olmuş kent parçalarında veya simgesel yapıların yok olduğu durumlarda rekonstrüksiyonun tamamen dışlanmadığı, fakat sıkı koşullara bağlandığı görülür. Literatürde, bu tür durumlarda kabul gören temel koşullar, birkaç başlıkta toplanabilir. İlk koşul, belge yeterliliğidir. Yeniden inşa edilecek yapının biçim, ölçü, malzeme ve süsleme özellikleri, güvenilir rölöveler, fotoğraflar, arşiv projeleri ve benzeri birincil kaynaklarla desteklenmelidir; tasarımın önemli bölümleri tahmine dayalıysa, rekonstrüksiyon koruma açısından sorunlu kabul edilir (Uçar ve Örmecioğlu, 2019; Doğan, 2020). İkinci koşul, özgünlük ve bütünlüğün yorumlanmasıdır. Nara Belgesi çevresinde gelişen tartışmalar, özgünlüğü sadece fiziksel malzeme üzerinden değil; yer, işlev, gelenekler ve “yerin ruhu” gibi unsurlar üzerinden de değerlendirmeyi önerir (Önge, 2018; Eraslan, 2019; Saygıner, 2024). Bu bağlamda, özgün malzemenin büyük ölçüde kaybolduğu durumlarda bile, yapının

bulunduğu yer, kentsel doku içindeki konumu, toplumsal hafızadaki yeri ve süreklilik gösteren kullanım biçimleri, rekonstrüksiyon lehine veya aleyhine gerekçe olarak ortaya konulabilir.

Üçüncü koşul, yeni ile eskinin ilişkisidir. Venedik Tüzüğü ve onu izleyen yorumlar, rekonstrüksiyon veya tamamlama işlemlerinde yeni eklerin hem bütünle uyumlu olması hem de gerektiğinde okunabilir biçimde ayırt edilebilir olması gerektiğini vurgular. Bu yaklaşım hem biçimsel uyumluluğu hem de tarihsel şeffaflığı aynı anda talep eder. Rekonstrüksiyonun “mükemmel kopya” üretme çabasına dönüşmesi durumunda, yapının belge niteliğinin gölgelenebileceği ve gelecekteki araştırmacıların hangi kısımların özgün, hangilerinin çağdaş ek olduğunu ayırt etmekte zorlanabileceği dile getirilir (Ersen, 2015; Heinz, 2019).

Ahşap yapılara özgü uluslararası ilkeler, rekonstrüksiyon tartışmasına malzeme düzeyinde ek bir katman getirir. ICOMOS’un tarihî ahşap yapıların korunmasına ilişkin ilkelerinde, özgün ahşap elemanların mümkün olduğunca korunması, yalnızca taşıyıcı güvenliği gerçekten tehdit eden çürümelerde değiştirme yoluna gidilmesi, yeni ahşap elemanların tür, kesit ve işçilik bakımından özgünle uyumlu fakat belgelenebilir olması vurgulanır (Toprak, 2017; Beşkonaklı, 2019). Bu yaklaşım, tam rekonstrüksiyon yerine, kısmi yenileme ve eklemeli onarım stratejilerini öne çıkarır; böylece hem malzeme sürekliliği hem de zanaatkarlık bilgisinin aktarımı teşvik edilir.

4.4.2. Geleneksel Sistemin CLT ile Yeniden Yorumlanması

Koruma İlkeleriyle İlişkisi

Bu çalışmada önerilen üç ayrı duvar senaryosu, restorasyon ve rekonstrüksiyon alanında kabul gören ilke setleriyle ilişkileri açısından birlikte düşünülmelidir. Referans senaryo karkas karakterli geleneksel duvar sistemidir. Birinci CLT seçeneğinde, 12 cm CLT panel ısı yalıtım katmanıyla beraber toplam kalınlık korunmakta; cephe kaplaması özgün yapıya mümkün olduğunca benzetilerek kütsel oran ve derinlik etkisi sürdürülmektedir. İkinci CLT seçeneğinde ise sadece CLT panel üzerine doğrudan membranlar, çıtalar ve ahşap kaplama uygulanmakta; toplam kalınlık daha ince bir seviyeye indirilerek iç mekânda kazanılan alan artırılmakta, duvar kesiti mühendislik ahşabının sunduğu taşıyıcılık avantajıyla inceltilmektedir.

Geleneksel sistem, koruma kuramı açısından “özgün malzeme ve teknik süreklilik” ekseninde en güçlü seçenektir. Restorasyon teorisi, tarihî bir yapının hem sanat eseri hem de tarihî belge niteliği taşıdığını, bu nedenle özgün malzeme ve strüktürün mümkün olan en geniş ölçüde korunması gerektiğini vurgular (Ersen, 2015; Doğan, 2020). Minimum müdahale, geri döndürülebilirlik ve özgün işçilik izlerinin okunabilir kalması hem Venedik Tüzüğü hem de Burra Tüzüğü yorumlarında temel ilkeler arasında sayılır (Toprak, 2017; Tunalı, 2023). Geleneksel karkas sistemin yeniden inşası, özgün kesit mantığını, duvar kalınlıklarını, katmanlı yapıyı ve özellikle ahşap taşıyıcı–dolgu ilişkisini yeniden üretme imkânı sunduğu için, malzeme ve teknik özgünlük boyutunda bu ilkelere en çok yaklaşan seçenektir. Buna karşılık, güncel deprem ve yangın yönetmeliklerinin gerekleri, taşıyıcı kesitlerin güçlendirilmesi, bağlantı detaylarının çağdaşlaştırılması gibi zorunlu müdahaleler üzerinden, bu seçeneğin de belirli bir “çağdaş katman” içereceği açıktır.

Birinci CLT seçeneği, form ve algı düzeyinde özgünlük ile strüktürel düzeyde çağdaşlık arasında kontrollü bir eşik üretmeyi hedefleyen bir senaryo olarak okunabilir. Toplam duvar kalınlığının geleneksel sistemle aynı tutulması, pencere derinlikleri, gölge–ışık oyunları ve saçak–cephe ilişkisi gibi dışa yansıyan oranların korunmasını mümkün kılar. Aynı ahşap cephe kaplamasının kullanılması, sokak ölçeğinde algılanan doku sürekliliğini güçlendirir; plan şemasının, kat sayısının ve kütle oranlarının değiştirilmemesi durumunda, Burra Tüzüğü’nün vurguladığı “kültürel önemin başlıca taşıyıcıları” olan mekânsal düzen ve siluet büyük ölçüde korunmuş olur (Toprak, 2017; Eraslan, 2019). Buna karşın, duvarın taşıyıcı mantığı kökten değişmekte; özgün sistemdeki ahşap iskelet–dolgu kombinasyonu, monolitik bir CLT panel + yalıtım katmanı ile yer değiştirmektedir. Bu durum, Venedik Tüzüğü’nün “tarihî belgenin malzeme ve teknik özelliklerine saygı” ilkesiyle kısmi bir tezatlık yaratabilir (Uçar ve Örmecioğlu, 2019; Doğan, 2020).

Bu gerilimin koruma kuramı açısından nasıl yorumlanacağı, özgünlük kavramının hangi düzeyde tanımlandığına bağlıdır. Nara Belgesi çerçevesinde özgünlüğün yalnızca malzeme ve teknikten ibaret olmadığı; yer, işlev, gelenek, kentsel bağlam ve “yerin ruhu” gibi unsurları da içerdiği kabul edilmektedir (Eraslan, 2019; Saygıner, 2024). Birinci CLT seçeneğinde, konum, siluet, plan şeması ve cephe oranlarının korunması; iç–dış ilişkilerinin benzer bir mekânsal deneyim sunacak biçimde yeniden kurgulanması sağlanabilirse, malzeme düzeyindeki kopuşa karşın “kültürel önemin”

büyük kısmının sürdürülebilmesi mümkündür. Buna karşılık, tarihî ahşap yapılar için hazırlanmış ICOMOS ilkeleri, özgün ahşap taşıyıcıların mümkün olduğunca korunmasını, yalnızca taşıyıcı güvenliği ciddi biçimde tehlikeye girdiğinde değiştirilmesini ve yeni ahşap elemanların da tür, kesit ve işçilik bakımından özgünle uyumlu olmasını önceler (Toprak, 2017; Beşkonaklı, 2019). Bu açıdan bakıldığında, taşıyıcı sistemin tamamen CLT'ye dönüştürüldüğü bir senaryonun, restorasyon değil, belgelere dayalı çağdaş bir rekonstrüksiyon ve yorum niteliği taşıdığı kabul edilmelidir.

Türkiye'deki hukuki çerçeve açısından da birinci CLT senaryosu, 2863 sayılı Kanun ve 660 sayılı İlke Kararı bağlamında “yeniden yapım / rekonstrüksiyon” eksenine yerleşir. Tescilli yapılarda taşıyıcı sistemin bütünüyle değiştirilmesi, genellikle ancak yapı büyük ölçüde yitirildiyse, can güvenliği açısından zorunlu bir dönüşüm söz konusuysa veya taşıyıcı nitelik belgelerle yalnızca kısmen takip edilebiliyorsa gündeme gelir (Aygörmez, 2020; Baran, 2024). Bu durumda dahi, cephe oranları, kat adedi ve plan şeması gibi “tarihî kimliği taşıyan” bileşenlerin korunması beklenir. Birinci CLT opsiyonunda duvar kalınlığının özgün değere yakın tutulması hem ısı performansı hem de oran-ölçek sürekliliği bakımından bu beklentiyle uyumludur; ancak taşıyıcı sistemin tümünden değişmesi, müdahalenin düzeyini klasik restorasyon sınırlarının ötesine taşır.

İkinci CLT seçeneği, duvar kalınlığını daha ince bir seviyeye indirerek iç mekânda net kullanım alanını artıran mühendislik ahşabının strüktürel kapasitesini daha agresif biçimde kullanan bir senaryo oluşturur. Bu durumda, pencere derinlikleri, nişler ve iç mekândaki duvar kalınlıkları, geleneksel sistemdeki “masiflik” hissinden belirgin biçimde uzaklaşır. Dış cephede aynı kaplama ve benzer oranların korunması durumunda bile iç mekândaki hacim boyutları, mobilya yerleşimi ve duvar-açıklık ilişkileri, geleneksel konut tipolojilerindeki “sofa-oda” kurgusundan daha çağdaş bir mekânsal dile yaklaşır. Burra Tüzüğü yorumlarında, adaptif yeniden kullanım projelerinde plan şemasında belirli ölçüde değişiklik yapılabileceği ancak yapının kültürel önemini taşıyan ana mekânsal organizasyonun ve kütle oranlarının korunması gerektiği vurgulanır (Toprak, 2017; Tunalı, 2023). Duvar kalınlığının bu ölçüde inceltilmesi plan boyutlarının büyütülmesiyle birleştiğinde özgün mekânsal oranlardan sapma riskini artırır.

Özgünlük ve bütünlük tartışmaları açısından ikinci CLT seçeneği “çağdaş konfor ve verimlilik” gerekçelerini öne çıkaran fakat tarihî belgenin malzeme ve mekânsal oran boyutlarındaki sürekliliğini daha fazla zorlayan bir çözüm olarak görülebilir. Nara Belgesi’nin özgünlüğü geniş bir değerler seti üzerinden tanımlaması, işlevsel uyum ve sürdürülebilir kullanım gibi hedeflerin de koruma kararlarında dikkate alınabileceğini kabul eder (Eraslan, 2019; Saygıner, 2024). Buna rağmen, özgün bir köşkün yeniden inşasında, duvar kalınlığı gibi doğrudan algılanabilir oranların sistematik biçimde inceltilmesi gerek uluslararası ilkelerde gerek Türkiye’deki kurul kararlarında sıkça vurgulanan “tarihî karakterin bozulmaması” ölçütüyle gerilim yaratır (Doğan, 2020; Baran, 2024). Bu nedenle ikinci CLT seçeneği, koruma ilkeleri açısından daha çok “benzeştirilmiş cepheli yeni yapı” veya “tarihsel göndermeli çağdaş tasarım” kategorisine yaklaşır.

Üç senaryo birlikte okunduğunda, koruma ilkelerine yakınlıktan uzaklığa doğru sıralı bir spektrum ortaya çıkar. Geleneksel karkas sistemin yeniden inşası, malzeme, teknik ve mekânsal oranlarda özgün senaryoya en yakın konumu temsil eder; bu seçenekte temel sorun alanı, daha çok çağdaş yönetmeliklerin gerekleriyle minimum müdahale ilkesinin nasıl uzlaştırılacağıdır. Birinci CLT seçeneği, strüktürel düzeyde çağdaş bir sistem kullanmasına karşın, duvar kalınlığı, cephe oranları ve mekânsal şema üzerinden özgünlük ve bütünlük ilkelerine belirli ölçüde yaklaşan, bu nedenle “belgelenmiş, uyumlu ve ayırt edilebilir bir rekonstrüksiyon” olarak savunulabilir bir ara çözüm oluşturur. İkinci CLT seçeneği ise, mimari kullanım alanını maksimize eden, ekonomik ve işlevsel açıdan verimli bir alternatif olmakla birlikte hem uluslararası etik çerçeve hem Türkiye’deki hukuki–idari düzen açısından, rekonstrüksiyon değil, tarihsel referanslı yeni bir tasarım olarak değerlendirilmesi gereken bir uç noktaya yerleşir.

5. UYGULAMA: İSTANBUL'DA BİR TARİHİ KONAK MODELİ

Bu, uygulama bölümü, İstanbul'daki temsil gücü yüksek bir tarihi ahşap konağı örnek olarak kuramsal tartışmayı somut, ölçülebilir ve karşılaştırılabilir verilere dönüştürmeyi amaçlamaktadır. İlk adımda yapının mimari kurgusu yalın biçimde ortaya konulmuştur. Plan şeması, dolaşım ilişkileri, cephe–kabuk katmanları ve ahşap iskeletin temel düzeni, tek ve tutarlı bir dijital model üzerinde görünür kılınmıştır. Aynı model içinde elemanların boyutları, konumları ve birbiriyle olan bağları izlenebilir olduğundan metraj çıkarımı, üretim ve montaj adımları baştan birlikte düşünülmüştür. Hangi imalatın ne kadar malzeme ve işçilik gerektirdiği, hangi detayın şantiye organizasyonunu nasıl etkilediği erkenden bu çalışma sayesinde anlaşılacaktır. Böylelikle hesap çıktıları, metraj ve maliyet verileriyle karşılaştırılmıştır.

Bu ortak veri üzerinde üç rekonstrüksiyon yolu sınanmak istenmiştir:

- Geleneksel zanaat temelli yaklaşım olan geleneksel karkas sistem
- Modern endüstriyel yapım ile (CLT yığma sistem) yapının duvar kalınlığının korunduğu
- Modern endüstriyel yapım ile (CLT yığma sistem) yapının duvar kalınlığının korunmadığı alternatif sistem

Bu kabuller, metraj kuralları ve birim fiyat karşılıkları şeffaf biçimde düzenlenilir. İşçilik ve ekipman ihtiyacı, şantiye süresi, tedarik ve lojistik koşulları ile prefabrikasyonun olası etkileri birlikte değerlendirilir. Sonuçta TL/m² toplam ve kalem fiyatları aynı ölçütlerle yan yana getirilebilir. Zaman ve işgücü gereksinimleri mimari sonuçlarla birlikte okunabilir. Amaç, koruma ilkeleriyle uyumu ve mali–lojistik gerçekliği tek tabloda buluşturan, karar vericinin hızlıca kullanabileceği, dili sade, dayanakları açık bir değerlendirme çerçevesi üretmektir.

5.1. Tarihi Ahşap Konağın Mimari Özellikleri

Araştırma için seçilen köşk özellikleri bakımından geç 19. yüzyılın son çeyreğinde saray/kasır çevrelerinde görülen ahşap köşklerin genel temsiline uygundur. Temsil ve gündelik işlevlerin birlikte yürütüldüğü plan-mekân diline sahiptir. Bu dil, “sofa” merkezli kurgusuyla Osmanlı–Türk konut geleneğinin sürekliliğinin saray

çevresindeki köşklere de taşınmıştır (Korkmaz, 2011). Sofa yalnızca bir dolaşım kavşağı değil, aynı zamanda ev yaşamının merkezidir. Plan türleri ise onun etrafında şekillenmektedir (Korkmaz, 2011). Çalışmada örnek alınan İstanbul'daki tarihi konak modeli bu çerçevede plan, dolaşım ve taşıyıcı sistemi incelenmiştir.

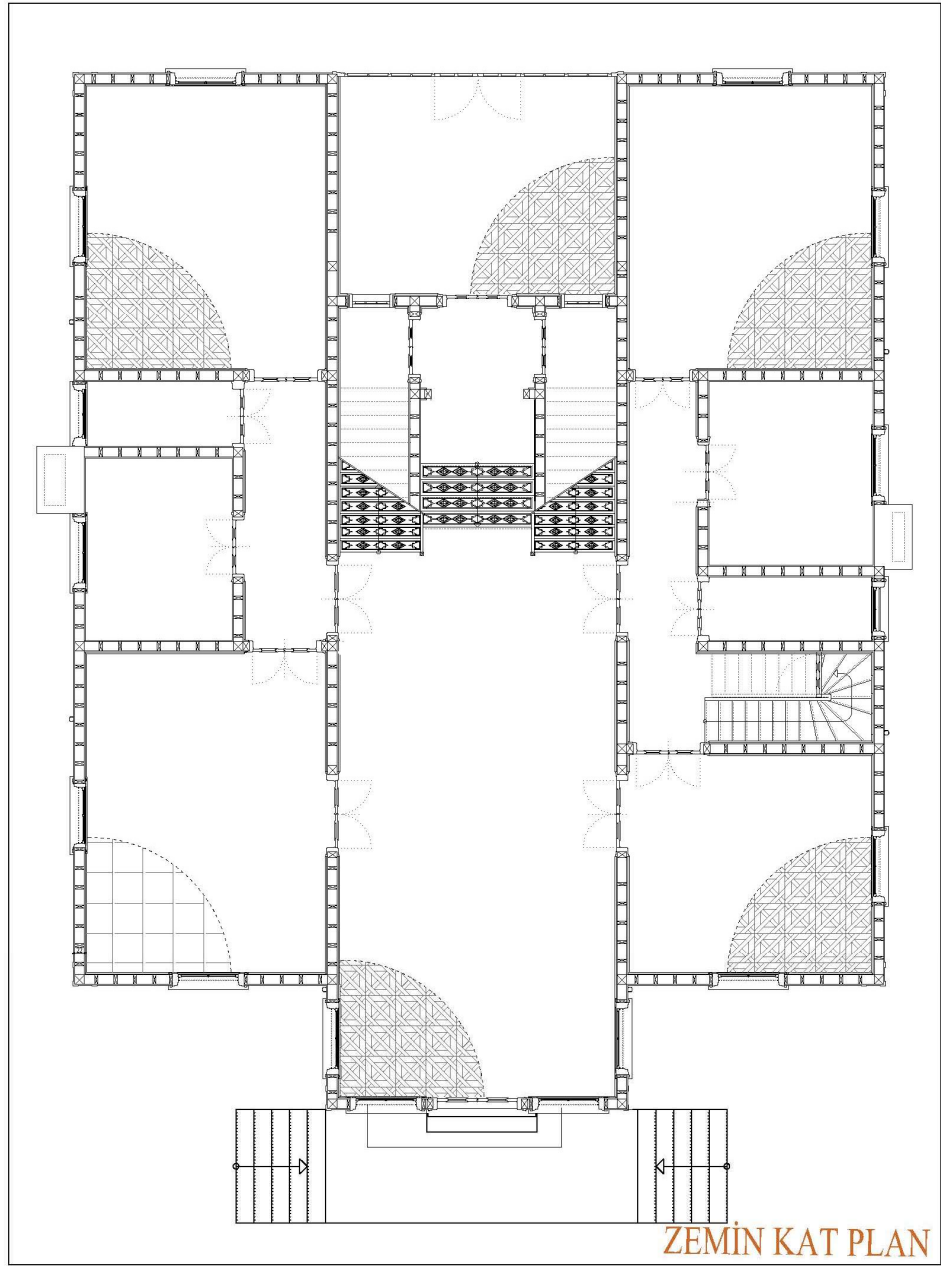
Köşkün mimari tasarımı yalın bir dikdörtgen kitle içinde tek sofa yanlarında simetrik plan, önde arazi ile aynı kottan girilen sofa ve arka cephede ise çift kollu bir giriş merdiveni, giriş holü ve merdiveni bir araya getiren dengeli bir şema kurgulanmıştır. Zemin ve birinci katta yinelenen oda dizileri, sofa ile kurdukları doğrudan ilişki sayesinde bir hiyerarşi üretmiştir. Bu şema, Osmanlı konut geleneğinde iç/orta sofalı plan tiplerinin saray çevresi köşklere uyarlanmış bir yorumu olarak görülebilir (Korkmaz, 2011).

Söz konusu köşkte, giriş zemin ile aynı kottaki sofaya direk açılan çift kanatlı kapıdan, arka giriş ise çift kollu merdiven ile arka sofa bağlanır. Üst kata çıkan ana merdiven de bu arka sofadan başlar. Üç ara sahanlığıyla gösterişlidir ve mekânın törensel etkisini güçlendirir.

5.1.1. Plan Kurgusu

Ahşap köşk, dikdörtgen ana gövdesiyle bahçe aksına paralel yerleşir; kısa kenar ön cepheyi, uzun kenar ise içteki iki sofalı iskeleti taşır. Bu yerleşim tercihi, daha zemin kotundan itibaren ön yüz–arka yüz ikiliğini mimari dile çevirmektedir. Ön yüzde temsil ve karşılaşma, arka yüzde ise servis ve lojistik düzen görünür hâle gelir. Söz konusu ikilik yalnızca işlevsel bir ayırım değildir aynı zamanda iç mekânın akışını dış mekândaki yaklaşım ritmiyle eşler. Bu aşamada önemli olan su basmanının yalnızca bir kot farkı değil, aynı zamanda oranlayıcı bir referans çizgisi olmasıdır. Cephe boyunca pencere alt eşiği, iç döşeme kotu ve kapı eşiği, bu çizgi etrafında kalibre edilir.

Ahşap köşkün zemininin plan kurgusunu incelediğimiz zaman plan omurgası derinlemesine uzanan bir eksende ardışık iki sofa ile kurulur (**Şekil 5.1**). Öndeki sofa, çift kollu merdivenin ulaştırdığı karşılama mekânıdır; yanlara köşe odaları ve araya küçük odalar/ıslak hacimler dizilir. Arkadaki merdiven sofası ise katlar arası akışın omurgasıdır ve arka girişle doğrudan ilişkidedir. Bu düzen, Osmanlı ev tipolojisindeki “sofa merkezli” düşüncenin saray çevresi köşkte ölçülü ve temsil duygusunu gözetten bir yorumudur (Bozkurt, 2013).

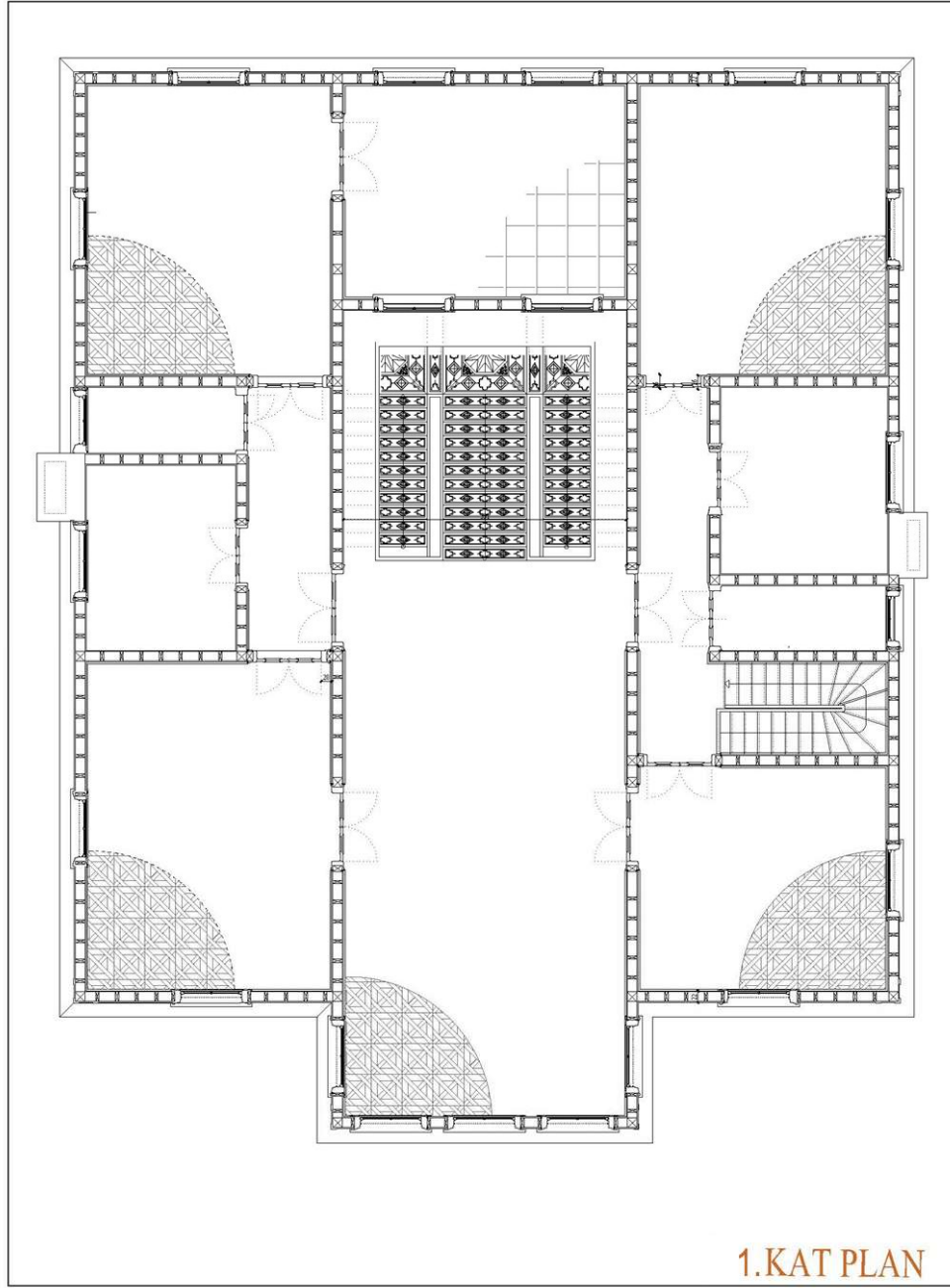


Şekil 5.1: Yapı zemin kat plan kurgusu.

Zemin kat dağılımında iki sofa, dört büyük oda, dört küçük oda, iki hela ve bir servis merdiveni bulunmaktadır.

Birinci kat plan kurgusu ise zemin planının tekrar ilkesine dayanır fakat ikincil bir iç merdiven, hizmet dolaşımını bağımsızlaştırır. Böylece temsil/konut akışı ile servis akışı birbirinden ayrışır. Bu ayrışma, özellikle gece-gündüz kullanımlarının ve mahremiyet sınırlarının belirginleşmesine hizmet eder (Şekil 5.2).

Birinci kat dağılımında iki sofa, dört büyük oda, dört küçük oda, iki hela ve bir servis merdiveni bulunmaktadır.

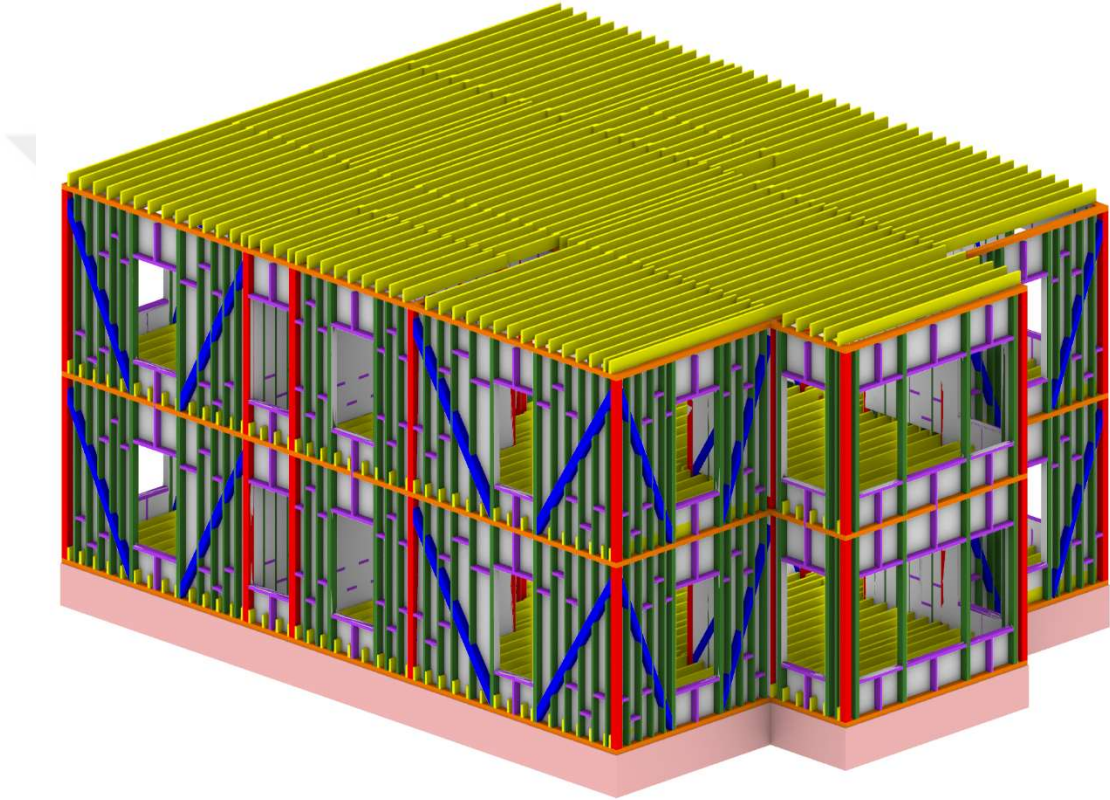


Şekil 5.2: Yapı birinci kat plan kurgusu.

5.1.2. Taşıyıcı Sistem: Ahşap Karkasın Mantığı

Köşk, ahşap karkas sisteme dayanır (Şekil 5.3). Taşıyıcı sistem; kütleli ve nem dayanımlı bir taş su basmanı üzerinde, çevre boyunca yastık kirişleri ile tanımlanan yatay referans düzlemi ve bunun üzerine oturan ana-ara dikmeler ve bunları yatayda bağlayan ara hatıllar ile payandaların üçgenleştirici etkisi sayesinde çalışan bir çerçeve bütünüdür. Yük yolu su basmanından yastık kirişine, dikme-hatıl örgüsüne, kat

düzleminde döşeme kirişlerinin sağladığı diyafram davranışına ve en üstte mahya-aşık-mertek dizgesine kesintisiz aktarım olarak kurgulanır. Bu mantıkta burkulma boyunun kısaltılması (ara hatıllar), yatay rijitliğin artırılması (payandalar) ve düşey yüklerin güvenli taşınması (ana dikmeler) birlikte düşünülür. Birleşimlerde zıvana-oyuk, gönye çatkı ve gerektiğinde gizli metal takviyeler hem yerel zanaatla uyumlu hem de değiştirilebilirlik ilkesini destekleyen çözümlerdir. Malzeme seçiminde çürümeye dirençli kestane/meşe ve ahşap-taş arayüzünde nem kesici ara katman esastır (Ergün, 2010).



Şekil 5.3: Yapı ahşap karkas kurgusu: ana dikmeler, ara dikmeler, payandalar, ara hatıllar, döşeme kirişleri.

5.1.2.1. Taş Su Basmanı (Taş Dolgu Duvar)

Ahşap Köşk'te üst yapının dayandığı su basmanı, çevre boyunca kesintisiz dolaşan kireç harçlı taş duvardan oluşur. Dış yüzde düzgün kesme taş sıraları, içte moloz taş dolgusu tercih edilmiştir. Yükseklik $\approx 1,00$ m; duvar kalınlığı 90 cm, üst tabla (taç) genişliği 90 cm aralığındadır. Bu kütleli altlık üst yapıdan gelen düşey yükleri yayılı biçimde zemine iletir ve ahşap karkası nemden ayırır. Köşe birleşimlerinde taş

kilitlemeler yapılır ve dışta çevre eğimi suyu duvardan uzaklaştırır. Su basmanı üstünde, ahşap–taş temasında bitümlü ayırıcı/keçe veya eşdeğeri bir nem kesici tabaka bulunur. Bu ara katman, ahşabın biyolojik bozulmaya açık dip bölgelerinde kritik önemdedir. Üst tablaya çıkmadan önce derzler hidrofor katkı kireç harcıyla tamamlanır. Duvar gövdesinde yer yer hatıl yerleştirildiği yöresel örneklerle uyumludur (Ergün, 2010).

5.1.2.2. Yastık Kirişleri

Tarihi ahşap köşkte, su basmanı üst kotunda, çevre duvarlarını izleyen yastık kirişleri; ahşap karkasın oturduğu birincil yatay hatlardır. Ahşap Köşk'te çürüme direnci yüksek kestane/meşe tercih edilir. Ana hatlarda tipik kesit 120×180 mm'dir. Boy eklerinde en az 0,80 m bindirme uygulanır ve köşelerde gönye çatkı, yarım zıvana ya da kırlangıç kuyruğu benzeri geçmelerle kitleme yapılır. Kiriş üst yüzeyinin terazi ve düzlem sürekliliği, dikme oturmaları ve döşeme kiriş başlıklarının eksenlenmesi için referanstır (Ergün, 2010).

5.1.2.3. Ana Dikmeler

Ana dikmeler, köşelerde ve taşıyıcı akslarda kat yüksekliği boyunca kesintisiz devam eden düşey elemanlardır. Ahşap Köşk'te köşe dikmeleri 180×180 mm kesitlerdedir. Lif yönü boyunca basınca çalışır ve üst yapı–çatı yüklerini yastık kirişlerine aktarır. Alt uçta yastık kirişi ile zıvana–oyuk geçme tercih edilmektedir. Çekme bölgeleri ahşap kama veya gizli çelik lamelle takviye edilebilir. Üst uçta ara hatla ve döşeme kiriş başlıklarına dişli geçmelerle bağlanır. Ana dikme–payanda–ara hatıl üçlemesi çerçevenin global stabilitesini tanımlar ve bu kurgunun deprem davranışına olumlu etkisi hıms sistemli tarihi konutlarda yapılan izleme ve modal çalışmalarla da vurgulanmıştır (Ergün, 2010).

5.1.2.4. Ara Dikmeler

Ara dikmeler, ana dikmeler arasındaki yüzey ve açıklık düzenini kuran ikincil düşey elemanlardır. Ahşap Köşk'te çerçeve içerisindeki dikme aralıkları 30 cm bandında korunur. Fakat 10 cm'ye de düştüğü yerler görülmektedir. Tipik kesit 60×180 mm'dir. Bu elemanlar çoğunlukla narinlik oranı düşük tutulacak biçimde ara hatlılarla birlikte

çalışır. Görevi yükten çok stabilite ve yüzey düzlemi kontrolüdür. Alt–üst uçta zıvana–oyuk geçmelerle yastık kirişi ve ara hatıla bağlanır ve yer yer gizli bulon/lamel destekleri kullanılır. Ara dikme düzeni, cephe ritmini ve pencere-kapı boşluklarının yeri/kurgusunu belirler (Ergün, 2010).

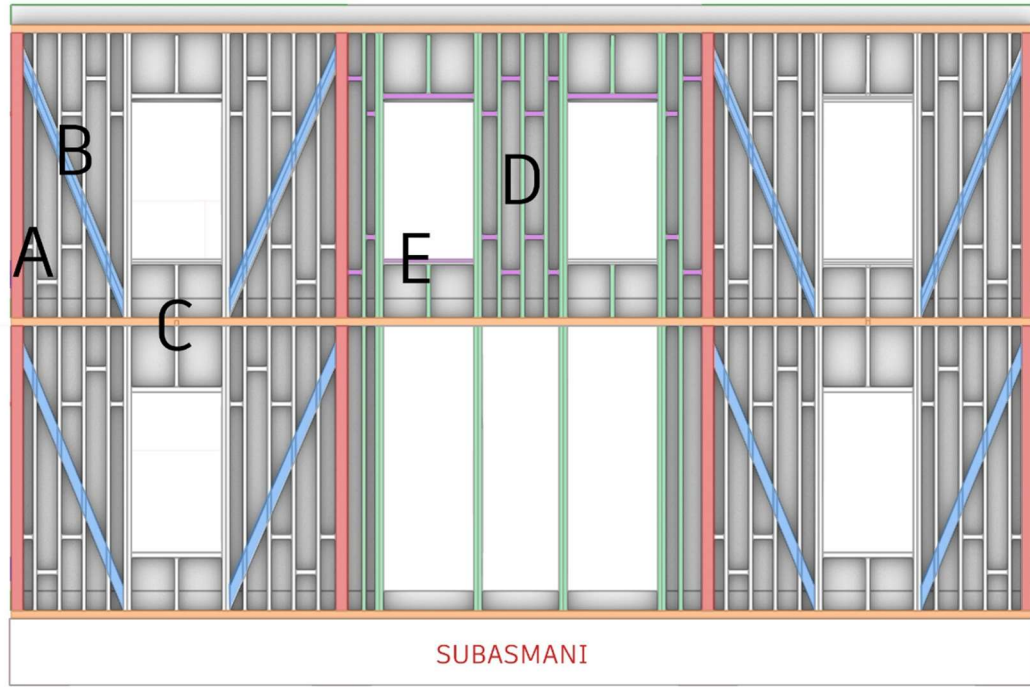
Yerel örüntüde, dikmelerin ahşap türü kestane/çam olarak seçilir. Emprenye ve yüzey koruyucularla bakım kolaylaştırılır. Ara dikmelerin sürekliliği, döşeme kirişlerinin başlık yerleriyle eşgüdümlü planlanarak ek zayıflıklarının önüne geçilir (Ergün, 2010).

5.1.2.5. Ara Hatıllar

Ara hatıllar, ara ve ana dikmeleri yatayda bağlayan, cephe kotlarını (özellikle pencere alt/üst hizaları) tanımlayan bağ elemanlarıdır. Ahşap Köşk'te tipik kesit 80×180 mm olup dikme burkulma boyunu kısaltır, yüzey düzlemini sabitler ve küçük açıklıkları geçmeye imkân tanır. Eklemlerde diş–oyuk ve ahşap kamalarla sıkıştırma yapılır. Süreklilik için ek yerleri mümkünse dikme üzerinde çözülür. Yöresel uygulamalarda hatıl–döşeme–dikme birlikteliği hem yapısal hem de cephe düzeninin temel belirleyicisidir (Ergün, 2010; Sarıkaya, 2019).

5.1.2.6. Payandalar

Payandalar, dikme ile ara hatıl/yastık kirişi arasında, genellikle 45° (±5°) eğimde yerleştirilen çapraz desteklerdir. Genelde simetrik bir şekilde çerçeve köşesinden ara hatıla üst köşeden bağlanır. Genelde simetrik olarak yerleştirilerek binanın taşıyıcılığı sabitlenmeye çalışılır. Ahşap Köşk'te köşe akslarında karşılıklı, uzun cephelerde ritmik aralıklarla ve açıklık bitişlerinde kısa kollar halinde görülür. Payandalar köşelerde 230×180 mm kesitler kullanılmıştır. Üçgenleme etkisiyle çerçevenin yatay rijitliği artar ve kat ötelenmeleri ile burulmalar sınırlanmaktadır. Uç bağlantılarda gönye çatkı ve diş; çekme bölgelerinde ahşap kama ya da gizli çelik lamel/bulon takviyesi yaygındır (Ergün, 2010) (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Yapı ahşap karkas kurgusu: (A) ana dikmeler, (B) payandalar, (C) yastık kirişler (D) ara dikmeler, (E) ara hatıllar.

5.1.2.7. Döşeme Kirişleri

Döşeme kirişleri, katlar arası yük aktarımını sağlar ve plan düzleminde yatay diyafram etkisini üretir. Ahşap Köşk'te aks aralığı 40 cm'dir ama yer yer 15 cm'ye de düştüğü yerler vardır. Tipik kesit 60×300 mm olarak düzenlenmiştir. Kiriş doğrultusu mümkün olduğunca kısa açıklığa paralel seçilir ve merdiven boşluğu çevresinde başlık kirişleri ile çerçeve tamamlanır. Kiriş başları, ana/ara dikmelere veya hatıllara dış-oyuk ile oturtulur ve gereklikçe gizli metal askı pabucu kullanılır. Eksenlenmenin yastık kirişleri ve dikme ayaklarıyla eşgüdümü, ek zayıflıklarının önüne geçer (Ergün, 2010).

Titreşim konforu, kütle-rijitlik dengesine ve kaplama katmanlarının sürekliliğine bağlıdır. Geleneksel örneklerde döşeme kaplaması altına akustik/dolgu katmanları eklenebilmekle birlikte, Ahşap Köşk'te yapısal işlevi olmayan bu tabakalar gerekmedikçe kullanılmamıştır (Ergün, 2010).

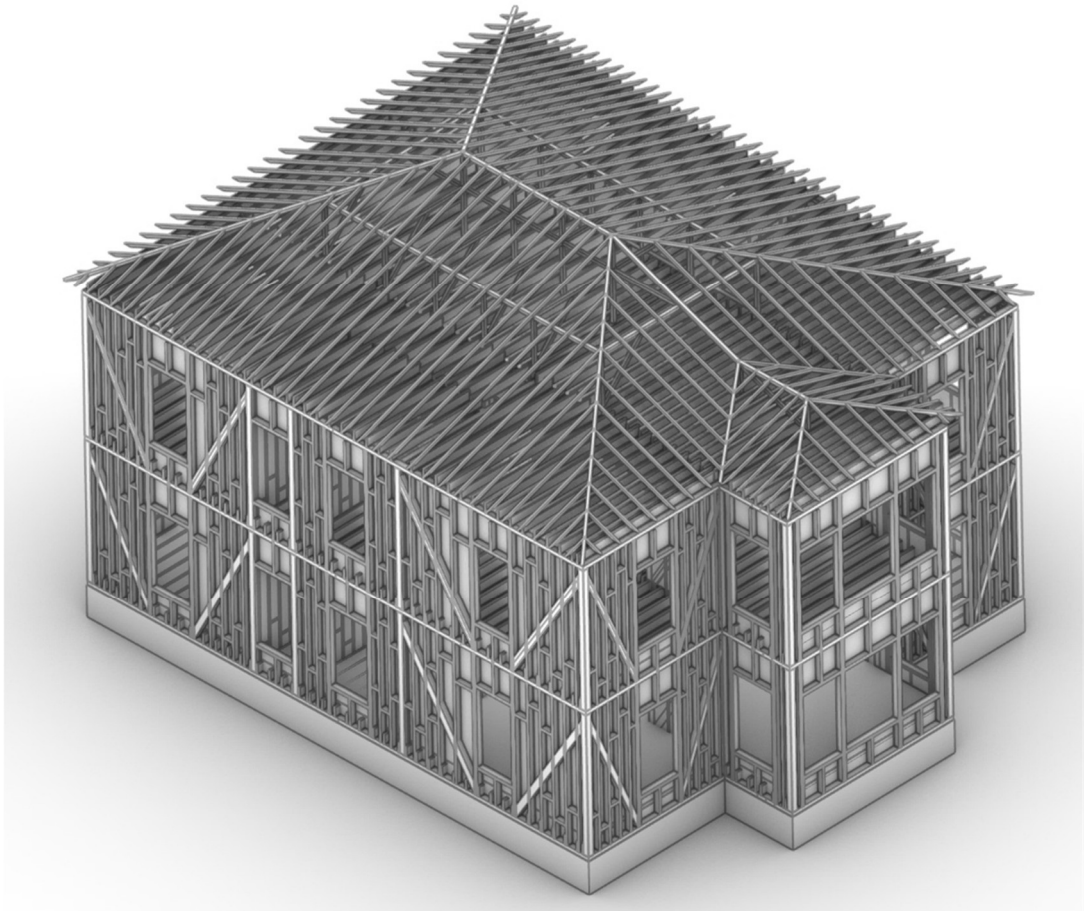
5.1.2.8. Merdiven

Ahşap Köşk'te merdiven, zemin-üst kat arasındaki düşey dolaşımı sağlar ve plan içinde sofa ile ilişkilidir. Gövde çoğunlukla içte konumlandırılmıştır.

Taşıyıcı sistem iki limon kirişi üzerine kurulur; limon kiriş genişliği 12 cm'dir. Rıht ve basamak tahtaları $\approx 2-3$ cm kalınlığında olup limon kirişe oturur. Bir yüz duvarla sınırlandırılır, diğer yüz 90 cm yüksekliğinde sade ahşap korkulukla tanımlanır. Ahşap Köşk'te rıht yüksekliği 17 cm, basamak genişliği 26 cm, kol genişliği 180 cm'dir.

Arka kapının önündeki sofadan 5 basamak ile ortadan 217 cm genişliğindeki tek merdiven ile ana sofaya çıkılır. Daha sonra 12 tane 157 cm genişliğindeki basamak iki koldan ara sahanlığa geçilir. İki kenarda bulunan iki sahanlık iki basamak daha yükselerek bir ara sahanlığa çıkar. Ortada bulunan sahanlıktan tekrardan tek bir merdiven ile 217 cm genişliğindeki 13 tane basamak ile 2. Kata çıkılır. Toplamda 27 basamak ile kurulan merdiven kurgusu gösterişlidir ve tören hissiyatı verilmesi istenmiştir.

5.1.2.9. Çatı: Mahya Kirişi, Aşıklar, Mertekler, Saçak ve İç Destekler



Şekil 5.5: Yapı ahşap karkas duvar elemanları ve çatı elemanları.

Ahşap Köşk'ün üst örtüsü kırma çatıdır. Çatı mahya aşığı 100x100 mm, eğim yönüne dik aşıklar 100x100 mm, aşıklara oturan merteklerden ana mertekler 100x100 mm ve ara mertekler 50x100 mm, göğüsleme 100x100 mm, yanlama 100x100 mm, yastık kirişi 100x100 mm kademeli bir iskelet oluşturur. Mertek aks aralığı $\approx 400-600$ mm'dir. Saçak çıkmaları 30 cm olarak cephe yüzeyini yağıştan koruyacak ölçüdedir. Örtü katmanı, astar tahta + su yalıtım katmanı + alaturka kiremit bileşimiyle tamamlanır. Mahya-kenar-baca diplerinde ek sızdırmazlık bantları kullanılır (Ergün, 2010; Tellioğlu ve Satıcı, 2024).

Geniş açıklıklarda, aşıklara çatı içi dikmeler (100x100 mm) ve içi payandalar bağlanır. Bu üçgenleme, rüzgâr ve deprem etkilerinde yan ötelenmeyi sınırlar (Şekil 5.3) (Tellioğlu ve Satıcı, 2024).

5.2. Yapının Statik ve Dinamik Hesapları

CLT malzeme ile rekonstrüksiyon aşamasına geçilmeden önce, taşıyıcı duvarların panel tipi ve kalınlığını belirlemek amacıyla TimberTech ortamında oluşturulan sayısal model üzerinden statik ve dinamik analizler yürütülmüştür. Burada kullanılan TimberTech, özellikle masif ahşap ve CLT sistemler için geliştirilen; panel, bağlantı ve taşıyıcı elemanların boyutlandırılması ile yapısal davranış analizlerini (statik ve deprem etkileri dâhil) gerçekleştirmeye olanak tanıyan bir mühendislik yazılımıdır. Bu çalışma ile seçilecek CLT perde kalınlığının, döşeme diyafram kurgusunun ve bağlantı setinin deprem etkisi altında oluşturacağı talep düzeylerini görünür kılınmıştır.

Modelde yapı, yaklaşık $19,77 \text{ m} \times 15,44 \text{ m}$ plan boyutları ve 9,00 m toplam yükseklik ile tanımlanmış; kat yüksekliği ve görelî ötelenme kontrollerinde $h = 4,50 \text{ m}$ referans alınmıştır. Taşıyıcı sistem; CLT perdelerin yatay yükleri topladığı, CLT döşemelerin ise diyafram davranışı ile bu yükleri ilgili duvar hatlarına dağıttığı bir şema üzerinden kurgulanmıştır. Bu kapsamda taşıyıcı duvarlar C24 sınıfında, 3 katmanlı, 120 mm CLT (40-40-40) olarak; döşemeler ise C24, 5 katmanlı, 160 mm CLT (40-20-40-20-40) olarak tanımlanmıştır.

Yükleme kabullerinde döşemeler için konut kullanımına karşılık gelen değerler esas alınmıştır: sürekli yük bileşenleri $g_{1,k} = 0,8 \text{ kN/m}^2$ ve $g_{2,k} = 1,0 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ olarak tanımlanmıştır. Yatay yükler kapsamında rüzgâr etkisi ayrıca modellenmiş; arazi pürüzlülüğü Terrain category III ve temel rüzgâr hızı 27 m/s kabul

edilmiştir. Deprem etkisi, kararın temel belirleyicisi olarak ele alınmış; deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve yerel zemin sınıfı ZC seçilmiştir. Spektrum tanımına esas parametreler **Tablo 5.1**'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 5.1: Deprem girdisi ve tasarım spektrumu parametreleri.

Parametre	Değer
Deprem düzeyi	DD-2
Yerel zemin sınıfı	ZC
S_s	0,773
S_1	0,220
S_{DS}	0,928
S_{D1}	0,330
PGA	0,320 g
PGV	20,014 cm/sn

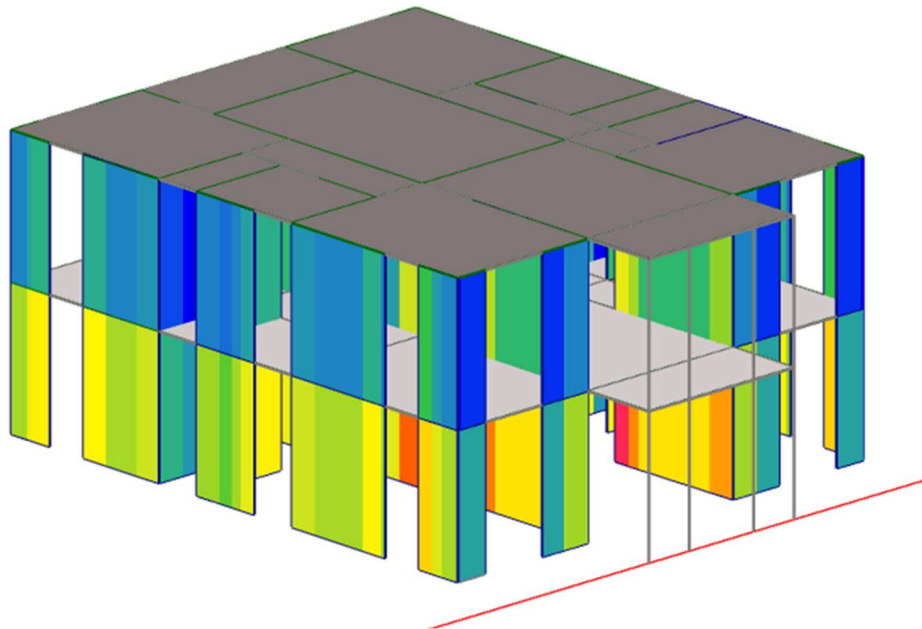
Dinamik çözüm, modal analiz ile başlatılmıştır. İlk mod için $T_1 = 0,28$ s ($f_1 = 3,55$ Hz) elde edilmiş; birinci modda X doğrultusunda kütle katılımının %81,94 seviyesinde olduğu görülmüştür. İkinci modda ($T_2 = 0,23$ s; $f_2 = 4,26$ Hz) X doğrultusu kümülatif katılımı %90,07'ye; üçüncü modda ($T_3 = 0,22$ s; $f_3 = 4,50$ Hz) X doğrultusu kümülatif katılımı %91,01'e yükselirken, Y doğrultusunda kümülatif katılım üçüncü mod sonunda %93,99'a ulaşmıştır. Dördüncü–altıncı modlarda periyotların 0,12–0,09 s aralığına indiği ve altıncı mod sonunda X/Y/Z doğrultularında kütle katılımının %100'e tamamlandığı raporlanmıştır. Bu sonuçlar, yapının kısa periyot bölgesinde çalışan görece rijit bir sistem karakteri gösterdiğini; dinamik talebin baskın modlar ve tamamlayıcı modlar üzerinden temsil edilebildiğini göstermektedir. Hâkim periyot civarında spektrumdan okunan talep düzeyi $S_d(T_1) \approx 0,34$ g olarak raporlanmıştır; bu değer, deprem girdisinin sistemde üreteceği ivme talebinin mertebesini özetleyen kritik bir göstergedir.

Deprem etkisinin küresel büyüklüğü taban kesme üzerinden de okunmuştur. Çıktılarda toplam taban kesme kuvveti X doğrultusunda $F_{h,x} = 653,73$ kN, Y doğrultusunda $F_{h,y} = 588,39$ kN mertebesinde verilmiştir. Bu büyüklükler, duvarlarda ve bağlantılarda elde edilen kesme/çekme taleplerinin bağlamını kurmak açısından önemlidir.

Duvar kalınlığı kararını doğrudan etkileyen performans göstergesi görelî kat ötelemesidir. Hasar sınırlama düzeyi için raporda sınır değeri $d_{lim} = 21,50$ mm olarak verilmiş; en olumsuz durumlarda hesaplanan görelî ötelemenin örneğin Wall 6 için $d_r = 6,10$ mm düzeyinde kaldığı ve bunun limitin %28'ine karşılık geldiği görülmüştür. Diğer duvar hatlarında 3,28–4,95 mm aralığında sonuçların raporlandığı; dolayısıyla

genel olarak ötelenme talebinin sınırın belirgin biçimde altında seyrettiği anlaşılmaktadır. Bu bulgu, 120 mm CLT perde kalınlığının rijitlik/ötelenme açısından yeterli bir başlangıç noktası sunduğunu; panel kalınlığını artırma ihtiyacının drift kaynaklı olmaktan ziyade yerel talepler ve detay koşulları üzerinden gündeme gelebileceğini işaret eder.

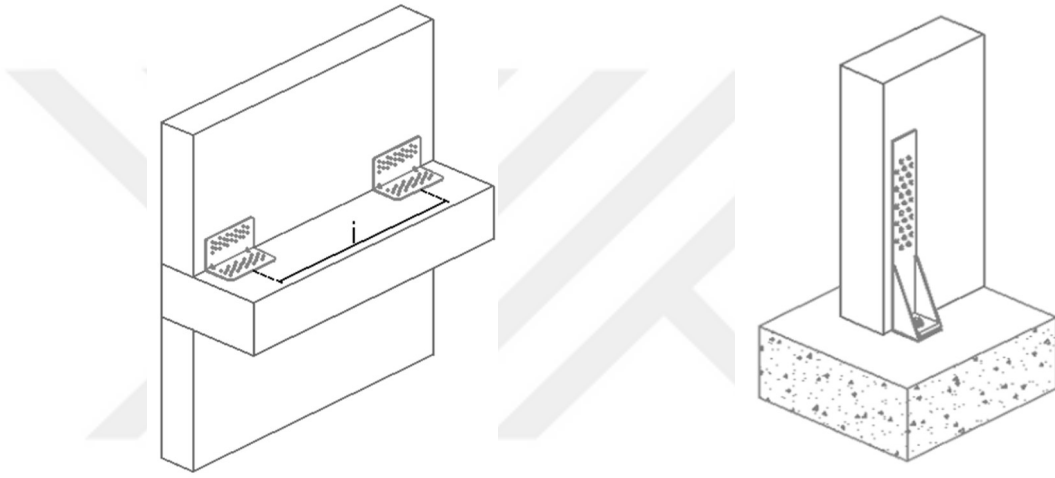
Statik ve dayanım kontrolleri, seçilen kesitlerin güvenlik rezervini ayrıca doğrulamıştır. CLT duvarlarda ULS kontrollerinde maksimum kullanım oranının %41, CLT döşemelerde ULS kontrolünde maksimum kullanım oranının %34 seviyesinde raporlandığı görülmüştür. Servis verimi tarafında ise bazı döşemelerde sehim kontrolünün daha kritikleştiği anlaşılmaktadır: SLS karakteristik durumda örnek bir döşemede sehim 19,74 mm, limit değer 21,53 mm (l/250) olup kullanım oranı %92'ye yaklaşmıştır. Bu çıktı, sistemin genel olarak rijit bir davranış göstermesine rağmen, belirli döşeme bölgelerinde servis veriminin uygulama projesinde ayrıca doğrulanması gerektiğine işaret eder (panel yönlendirilmesi, açıklık düzeni ve mesnet koşulları gibi parametreler bu aşamada belirleyici hale gelir). Kiriş elemanlarında ise SLS sehimlerinin daha düşük kaldığı; örnek bir kiriş için sehim 2,38 mm, limit 21,52 mm ve kullanım oranı %11 olarak raporlanmıştır.



Şekil 5.6: Timbertech Software kullanılarak yapılan modelleme ve statik tasarım.

Bağlantı elemanları, yük aktarım zincirinin güvenilirliği açısından modelde açıkça tanımlanmıştır. Panel–panel düşey birleşimlerinde süreklilik sağlamak üzere eğik vida çözümü kullanılmış; HBS 8×100 vidalar için 100 mm yerleşim aralığı kabul edilmiştir.

Zemin kotunda duvar uçlarında çekme taleplerini karşılamak üzere WHT 40 hold-down (bazı duvar hatlarında 1 adet, bazı hatlarda 2 adet) seçilmiş; kayma aktarımı için NINO 100×100 açılı elemanı @500 mm aralıkla düzenlenmiştir. Üst kot bağlantılarında süreklilik yine WHT 40 çözümü ile sürdürülmüştür. Bağlantı kontrollerinde hold-down çekme kontrolünün bazı duvar hatlarında %83 seviyesine kadar yükseldiği; açılı elemanı kayma kontrolünün ise %70 seviyelerine ulaştığı raporlanmıştır. Bu sonuç, panel kalınlığı kararının tek başına yeterli görülmemesi gerektiğini; özellikle kritik duvar hatlarında ankraj/bağlantı düzeninin uygulama projesinde özenle detaylandırılmasının şart olduğunu sayısal olarak destekler.



Şekil 5.7: Statik ve dinamik dayanımlar için kullanılan bağlantı elemanları:
NNO100x100 (solda) ve WHT40 (sağda).

Bu analiz sonunda, rekonstrüksiyon senaryosu için taşıyıcı duvar türü ve kalınlığı C24, 3 katman, 120 mm CLT perde olarak seçilmiştir. Driftin limitin belirgin biçimde altında kalması, bu kalınlığın rijitlik açısından yeterli olduğunu göstermektedir. Dayanım kontrollerinin düşük-orta kullanım oranlarında seyretmesi, seçimin güvenlik rezervi taşıdığını desteklemektedir. Buna karşılık, döşeme servis veriminin bazı bölgelerde %92 seviyesine yaklaşması ve bağlantı kontrollerinde %70–%83 bandına çıkan talepler, uygulama projesinde kritik alanın panel kalınlığından çok; döşeme açıklıklarının ve özellikle bağlantı/ankraj detaylarının olgunlaştırılması olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, proje geliştirme aşamasında duvar kalınlığını büyütme yerine, kritik duvar hatlarında bağlantı yoğunluğu ve ankraj düzeninin netleştirilmesi; döşeme yönlendirilmesi ve mesnet koşullarının servis verimi açısından yeniden doğrulanması, daha hedefli ve gerekçeli bir ilerleme stratejisi sunmaktadır.

5.3. Yapının Rekonstrüksiyonu İçin Üç Senaryo

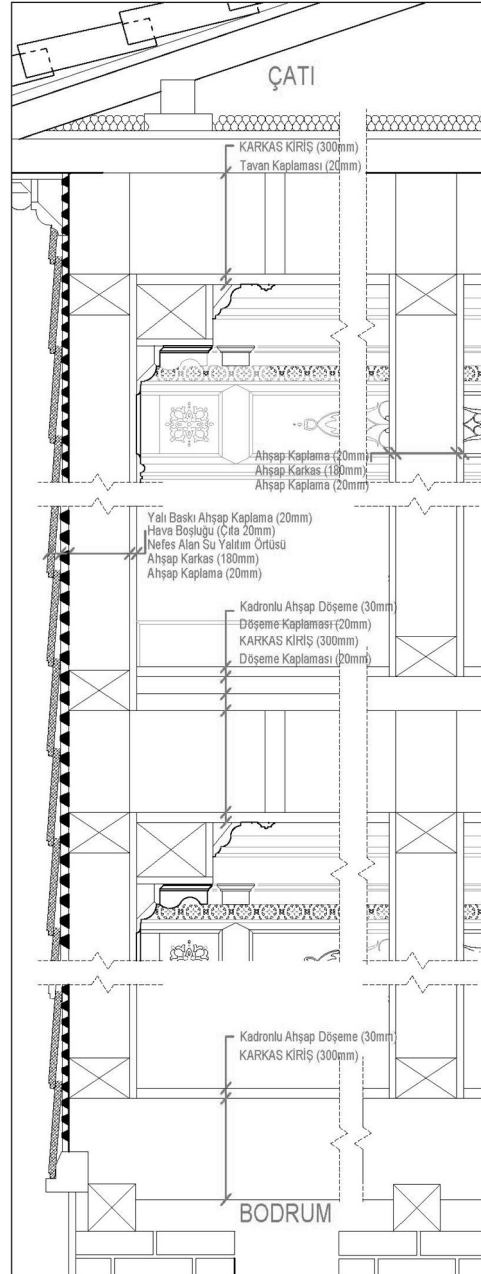
Tarihi yapının rekonstrüksiyon projesi kapsamında, geleneksel ile modern yapım tekniklerinin maliyet, mimari performans ve mekânsal etkilerini somut veriler üzerinden karşılaştırabilmek amacıyla üç farklı strüktürel senaryo kurgulanmıştır. Bu senaryolar oluşturulurken, yapının özgün kimliğini oluşturan görsel ve mekânsal hafızanın korunması temel ilke olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, tüm senaryolarda yapının zeminle ilişkisini kuran temel ve su basmanı kotu detayları, yapıyı sonlandıran geleneksel kırma çatı sistemi ve cephe karakterini belirleyen pencere, kapı doğramaları ile küpeşte detayları sabit tutulmuştur. Ayrıca iç mekânda tarihsel sürekliliği sağlamak adına, döşemedeki orijinal parke kurgusu, profilli tavan silmeleri, duvar çerçeveleri ve süpürgelik detaylarında herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Değişken parametre ise yapının "görünmeyen" ancak fiziksel ve ekonomik performansını doğrudan belirleyen taşıyıcı iskelet sistemi ve buna bağlı duvar-döşeme katmanlaşmasıdır.

Belirlenen birinci senaryo, yapının orijinal yapım tekniğine sadık kalınarak "Geleneksel Ahşap Karkas Sistem" ile yeniden inşa edilmesini öngörmektedir. Bu kurguda dış duvarlar, toplamda 24 cm kalınlığa ulaşan çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Dış cephede 20 mm kalınlığında yalı baskı kaplama, arkasında havalandırma sağlayan 20 mm'lik hava boşluğu ve kaplamayı taşıyan çıta sistemi yer alırken; yapının çekirdeğini 180 mm derinliğindeki ahşap karkas oluşturmaktadır. Enerji verimliliğini sağlamak adına karkas dikmeleri arasındaki boşluklar taş yünü yalıtım malzemesi ile doldurulmuş, karkasın iç yüzeyi ise 20 mm'lik bir kaplama ile sonlandırılmıştır (**Şekil 5.8**).

Yapının iç duvarlarına bakıldığında 180 mm derinliğindeki karkas sistem kendini yine tekrar etmiş fakat içinde taş yünü yalıtım ile dolgu yapılmamıştır. Karkasın iki yüzü 20 mm ölçülerindeki ahşap kaplama ile kaplanmıştır. İç duvarlar bu katmanlar toplamında 220 mm'yi bulmaktadır.

Yapının yatay düzlemleri incelendiğinde; bodrum ile zemin katı, zemin ile birinci katı ve birinci kat ile çatı arasını ayıran üç farklı döşeme seviyesi bulunmaktadır. Geleneksel sistemde bu döşemelerin kesit derinliği belirgindir. 300 mm yüksekliğindeki ahşap karkas kirişlerin taşıdığı sistemde; yaşam alanı olarak kullanılan zemin ve üst kat döşemelerinde, en üst katman olarak 30 mm kadronlu ahşap

döşeme altyapısı ve 20 mm döşeme kaplaması (parke) bulunmaktadır. Alt mekâna tavan teşkil eden döşemelerin alt yüzeyinde ise 20 mm kalınlığında tavan kaplaması kullanılmıştır. Tüm bu katmanlar bir araya geldiğinde, geleneksel sistemin toplam döşeme kalınlığı 370 mm'ye ulaşmaktadır. Bu senaryo, yapının tarihsel yapım tekniğini birebir yansıtmakla birlikte, kalın döşeme ve duvar kesitleri nedeniyle net kullanım alanı ve kat yükseklikleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

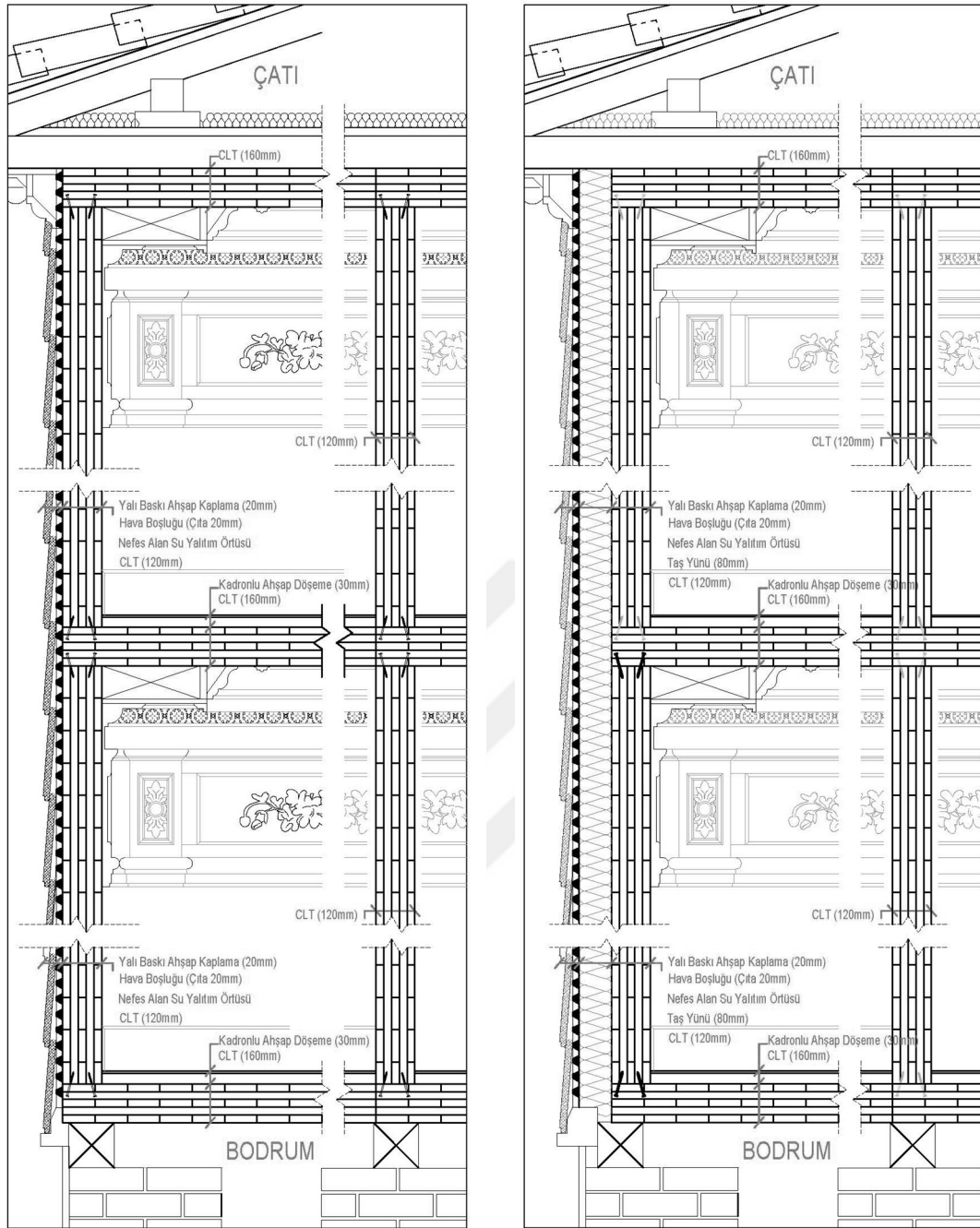


Şekil 5.8: Geleneksel ahşap karkas sistem kesiti.

İkinci senaryo (CLT Opt1), modern bir yapım tekniği olan Çapraz Lamine Ahşap (CLT) panellerin kullanıldığı, ancak mimari olarak geleneksel duvar kalınlığı hissinin korunduğu bir "hibrit" yaklaşımı temsil etmektedir. Bu seçenekte, yapının dış duvar kalınlığı, birinci senaryodaki gibi 24 cm’de sabit tutulmuştur. Ancak katmanlaşma, 12 cm kalınlığındaki taşıyıcı CLT panel ve onun ısısal performansını artıran 8 cm’lik taş yünü yalıtım levhası ile değiştirilmiştir. Dış cephede yine 20 mm hava boşluğu ve 20 mm yalıtım baskı kullanılarak cephe sürekliliği sağlanmıştır. CLT’nin masif ve rijit yapısı sayesinde iç mekânda ekstra bir kaplamaya ihtiyaç duyulmaması, malzemenin doğal dokusunun sergilenmesine olanak tanımıştır. Bu senaryonun en çarpıcı farkı döşeme kesitinde ortaya çıkmaktadır. Geleneksel sistemde 370 mm olan döşeme kalınlığı, 15 cm’lik CLT döşeme paneli ve yaşam alanlarındaki 30 mm’lik parke katmanı ile toplamda 180 mm’ye düşürülmüştür. Bu inceleme sayesinde, iki sistem arasında 19 cm’lik bir fark oluşmuş; bu boşluğun tesisat geçişleri veya kat yüksekliğinin ferahlatılması adına mimari bir kazanıma dönüştürülebilmesi öngörülmüştür (**Şekil 5.9**).

CLT Opt1 ve CLT Opt2 senaryoları için iç duvarlar -tıpkı geleneksel sistemde olduğu gibi- dış duvarlarla aynı iskelet kalınlığını korumakta ve 120 mm CLT duvar panelleri kullanılmaktadır. Bunun haricinde CLT malzemenin kendi masif halinden dolayı ekstra bir kaplamaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Üçüncü senaryo (CLT Opt2) ise CLT teknolojisinin strüktürel avantajlarını maksimize ederek "kesit inceliği" üzerine odaklanan bir kurgudur. İkinci senaryodan farklı olarak, bu seçenekte 80 mm’lik taş yünü yalıtım katmanı devreden çıkarılmış ve dış duvar kalınlığı 160 mm’ye düşürülmüştür. Geleneksel sistemdeki 24 cm’lik derinlik algısı yerine, modern ahşabın ince ve yüksek taşıyıcılık kapasitesi ön plana çıkarılmıştır. Döşeme ve diğer sabit elemanların ikinci senaryo ile aynı tutulduğu bu kurguda, asıl amaç; değişen duvar kalınlıklarının iç mekân net alanına (süpürülebilir alan) olan katkısını ve "kabuk etkisinin" mimari-ekonomik yansımalarını gözlemlemektir. Oluşturulan bu üç farklı senaryo; tezin ilerleyen bölümlerinde yer alan maliyet analizleri, U değeri (ısı geçirgenlik) karşılaştırmaları ve mimari detay sürekliliği tartışmaları için temel veriyi oluşturmaktadır.



Şekil 5.9: “CLT Senaryo 1” (solda) ve “CLT Senaryo 2” (sağda) sistem kesiti.

5.4. Maliyet Karşılaştırması

Bu bölümde geleneksel ahşap karkas sistem ile modern CLT tabanlı yapım sistemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılmasını sistematik bir çerçeve içinde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda öncelikle analiz yöntemi ve veri kaynakları açıklanmakta ve kullanılan metraj hesapları, birim fiyat dayanakları ve maliyet kalemlerinin belirlenme biçimi şeffaf biçimde tanımlanmaktadır. Ardından

sınırlandırmalar ve kabuller ortaya konularak hesaplamaların hangi varsayımlar altında gerçekleştirildiği netleştirilmektedir. Böylece hem geleneksel sistem için kullanılan pozlar ve toplam maliyet sonucu, hem de CLT temelli senaryolar için oluşturulan maliyet tabloları karşılaştırılabilir bir zemine oturtulmaktadır.

Devamında geleneksel yapım sistemi ile modern CLT yapım sistemine ait maliyet analizleri ayrı ayrı ele alınmakta; özellikle CLT Opt-1 (yalıtlı dış duvarlı) ve CLT Opt-2 (yalıtımsız dış duvarlı) senaryoları üzerinden duvar katmanlaşmasının toplam maliyete etkisi incelenmektedir. Üç yapım sisteminin toplam maliyetleri; malzeme, işçilik ve uygulama süresi gibi parametreler doğrultusunda karşılaştırılarak değerlendirilmekte, böylece yalnızca birim fiyat farkları değil, sistem tercihlerinin ekonomik sonuçları bütüncül biçimde ortaya konmaktadır.

5.4.1. Analiz Yöntemi ve Veri Kaynakları

Bu bölümde geleneksel ahşap karkas sistem ile CLT (cross-laminated timber) temelli alternatiflerin maliyet karşılaştırması, birim fiyat yöntemine dayalı analitik bir maliyet çözümlemesi olarak kurgulanmıştır. Çalışmada her bir duvar ve döşeme bileşenine ait metrajlar, tez kapsamında oluşturulan üç boyutlu mimari ve taşıyıcı modeller üzerinden (katman bazında m^2 ve m^3 değerleri çıkarılarak) hesaplanmış ve metrajlar hesaplanırken Rhinoceros 3d uygulaması ve Timbertech Software uygulaması kullanılmıştır. Ardından bu metrajlar 2025 yılına ait resmi birim fiyatlar ve piyasa teklifleri ile çarpılarak yaklaşık maliyetlere dönüştürülmüştür. Türkiye’de yapım maliyeti tahmininde yaygın kullanılan ve kamu birim fiyatları ile metrajların çarpımına dayanan bu yaklaşım, literatürde “birim fiyat yöntemi” olarak tanımlanmakta ve özellikle kamu yapım işlerinde hâlen temel başvuru yöntemi olarak kullanılmaktadır (Aksoy, 2015; Bayram vd., 2016).

İnşaat sektöründe ön maliyet tahmini için benzer proje maliyetleri, ortalama birim alan maliyeti ve fonksiyonel birim maliyet gibi farklı yöntemlerin de kullanıldığı bilinmekle birlikte bu tezde üç farklı yapım sisteminin katman düzeyinde karşılaştırılabilmesi için poz temelli birim fiyat yönteminin sağladığı ayrıntı düzeyi tercih edilmiştir (Kuruoğlu vd., 2012).

Veri kaynakları iki ana grupta toplanmıştır. İlk grupta, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın kültür varlıklarına yönelik birim fiyat ve analiz kitapları, T.C. Çevre,

Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2025 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ile PTT ve diğer kamu kurumlarının yayımladığı poz listeleri yer almaktadır. Bu listelerden çalışma kapsamındaki duvar ve döşeme katmanlarını temsil eden ve ahşap karkas imalatı, iç kaplama, yalı baskı, taş yünü yalıtım, buhar dengeleyici ve su yalıtım örtüleri, ahşap döşeme ve tavan kaplamaları gibi imalatlar için uygun pozlar seçilmiş, her biri 2025 yılı birim fiyatları üzerinden değerlendirilmiştir. Piyasa fiyatları ve şantiye süreçleri için Hastürk Firması ile görüşülmüş ve analizler yapılmıştır. Kamu ihalelerinde yaklaşık maliyetin çoğunlukla yetkili kurumlarca yayınlanan kamu birim fiyatlarına dayanılarak belirlendiği ve bu fiyatların bütçe planlamasında üst sınır işlevi gördüğü literatürde de açıkça vurgulanmaktadır (Bayraktar ve Bayraktar, 2014; Aksoy, 2015).

İkinci grupta, geleneksel poz sisteminde doğrudan karşılığı bulunmayan CLT paneller ve özel bağlantı sistemleri için yürütülen piyasa araştırması bulunmaktadır. Bu kapsamda, CLT panellerin m³ birim fiyatları ile montaj ve lojistik koşulları için ATT Wood firmasından, metal bağlantı elemanları ve ankraj sistemleri için ise Rothoblaas firmasından 2025 yılı içinde alınmış yazılı teklifler kullanılmıştır. CLT sistemlerine ilişkin uluslararası literatürde de maliyet değerlendirmelerinin çoğunlukla panel maliyetleri, bağlantı sistemleri ve lojistik kalemlerinin bir arada ele alındığı; kimi çalışmalarda bunların yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve çevresel etkilerle birlikte incelendiği görülmektedir (Aksoy, 2015).

Bu tezde ise kapsam, özellikle ilk yatırım maliyetine odaklanmakta; işletme ve bakım maliyetleri ile uzun dönemli finansal analizler ayrıca yapılmamaktadır.

Çalışmada kullanılan tüm malzeme ve imalat fiyatları 2025 yılı piyasa rayiçleri temel alınarak farklı kaynaklardan gelen veriler aynı fiyat düzeyine çekilmiştir. Resmi pozlarda yer alan birim fiyatlar doğrudan 2025 yılı kitaplarından alınmış firma teklifleri ise TL cinsine çevrilirken 1 € = 44,240 TL olmak üzere sabit bir döviz kuru kabul edilmiştir. Bu sayede özellikle ithal CLT paneller ve bazı özel yalıtım malzemeleri için döviz kurundaki gün içi dalgalanmaların analizi bozacak etkisi sınırlandırılmış ve üç senaryo arasındaki farkların yapım sistemlerinden kaynaklanan bileşenlerine odaklanılması sağlanmıştır. Fiyatlar ya doğrudan kamu birim fiyatlarından ya da bu birim fiyatlarla uyumlu olacak şekilde oluşturulmuş analiz pozlarından türetildiği için işçilik, nakliye, vinç, iskele, küçük el aletleri ve şantiye

genel giderleri pozların içinde gömülü kabul edilmiş bu kalemler ayrıca ayrıştırılmamıştır. Bu yaklaşım, kamu yapım ihalelerinde yaklaşık maliyetin poz bazlı kurgulanmasıyla uyumludur ve maliyet karşılaştırmasını imalat kalemleri düzeyinde sadeleştirmektedir.

Tüm maliyet hesaplarında, resmi analiz formatlarına paralel biçimde, müteahhitlik kârı ve genel giderler tüm kalemlerde %25 oranında sabitlenmiştir. Böylece her üç senaryoda da (Geleneksel, CLT Opt.1, CLT Opt.2) aynı kâr ve genel gider varsayımı kullanılarak, yapım sistemleri arasındaki farkların yalnızca duvar ve döşeme katmanlarına ait doğrudan imalat maliyetlerinden kaynaklanması sağlanmıştır. Arsa bedeli, mimari ve mühendislik proje tasarım ücretleri, yapı denetim hizmetleri, belediye ruhsat harçları ve vergiler ile elektrik-mekanik tesisat ve peyzaj düzenlemelerine ilişkin maliyetler analiz kapsamı dışında bırakılmış ve bunların sabit ve sistemden bağımsız olduğu varsayılmıştır. İnşaat projelerinde ön maliyet tahmin yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda da farklı yöntemlerin sağlıklı biçimde kıyaslanabilmesi için kapsamın doğru tanımlanması ve sistemler arası değişmeyen kalemlerin dışarıda bırakılması gerektiği belirtilmektedir (Aksoy, 2015).

5.4.2. Sınırlandırmalar ve Kabuller

Bu bölümde, üç farklı yapım sistemine (Geleneksel ahşap karkas, CLT Opt.1 ve CLT Opt.2) ait maliyet analizlerinin hangi sınırlar içinde gerçekleştirildiği ve karşılaştırmanın hangi kabullere dayandığı açıklanmaktadır. Amaç, elde edilen sayısal verilerin yalnızca taşıyıcı sistem özelinde ilerlenmiş ve kesitler incelenmiştir. Duvar ve döşeme yapım sistemlerindeki farkları yansıtmamasını, yapının geri kalan mimari ve teknik bileşenlerinden kaynaklanan sapmaların ise analizi bulandırmamasını sağlamaktır. İnşaat maliyeti çalışmalarında kapsamın ve sabit tutulan değişkenlerin baştan tanımlanmasının hem proje yönetimi hem de maliyet yönetimi açısından temel bir gereklilik olduğu ve proje hedeflerinin zaman–maliyet–kalite üçgeni içinde tanımlı bir kapsam çerçevesinde dengelenmesi gerekmektedir. Bu tanım ve hesaplar literatürde de vurgulanmaktadır (Şahin vd., 2022).

Öncelikle, yapının zemin ile ilişkisini kuran temel ve su basmanı imalatları (taş temel duvarı, su yalıtımı ve drenaj sistemi) her üç senaryoda da sabit kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu imalatlar, bir kez yapılması zorunlu ve taşıyıcı sistem tipinden bağımsız

elemanlar olarak değerlendirilmiş ve maliyet farkı analizine dahil edilmemiştir. Benzer şekilde, yapının özgün karakterini yansıtan kırma çatı formu, çatı kaplama malzemesi (kiremit), yağmur olukları ve baca detayları da üç senaryoda değişmez alınmış ve çatının konstrüktif çözümünde yapım sistemi kaynaklı ilave bir fark yaratılmadığı varsayılmıştır. Böylece, rekonstrüksiyon tasarımının biçimsel sürekliliği korunmuş ve maliyet karşılaştırmasının odak noktası ahşap taşıyıcı sistem, dış ve iç duvarlar ve döşeme bileşenlerine indirgenmiştir.

Cephe ölçeğinde, yapının tarihsel kimliğini belirleyen pencere ve kapı doğramaları, kat silmeleri, saçak detayları ve küpeşteler de malzeme ve işçilik açısından sabit tutulmuştur. Karşılaştırma yalnızca duvar kesitinin yapısal ve fiziksel katmanları üzerinden kurgulandığı için, doğrama tipindeki ya da cephe plastik öğelerindeki olası değişimler kapsam dışı bırakılmıştır. Bu tercih, malzeme veya kesit değişiminin bina maliyetine etkisini incelerken dış kabuğun yalnızca belirli bileşenlerinin analiz kapsamına alınması yaklaşımıyla paralellik göstermektedir. Nitekim Han Tümertekin ve Alberto Campo Baeza yapıları üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada da maliyet karşılaştırması özellikle zemin ve cephe kaplamaları üzerinden yapılmış diğer mimari bileşenler sabit kabul edilerek malzeme seçiminin maliyete etkisi birim fiyatlar yardımıyla sorgulanmıştır (Parlak Biçer ve Karaaslan, 2022).

Bu tezde ise, benzer bir şekilde, cephe karakterini taşıyan elemanlar sabitlenmiş; değişken olarak yalnızca duvarın taşıyıcı ve yalıtım katmanları ele alınmıştır.

İç mekân düzeyinde de benzer bir sınırlama izlenmiştir. Zemin kat ve birinci kat döşeme kaplamaları (orijinal parke), profilli tavan silmeleri, süpürgelikler ve duvar çerçeveleri restorasyon projesine sadık kalınarak her üç senaryoda da aynı nitelikte varsayılmıştır. Böylece, kullanıcı deneyimini ve mekânsal algıyı doğrudan etkileyen iç yüzey kaplamaları ve dekoratif elemanlar, sistemden bağımsız sabitler olarak değerlendirilmiş ve maliyet farklarının yalnızca taşıyıcı döşeme kesitinin (kirişli geleneksel döşeme / CLT döşeme plakları) ve duvar bileşenlerinin değişiminden kaynaklanması sağlanmıştır. Maliyet çalışmalarında, karşılaştırılan alternatifler arasında plan şemasının, kat alanlarının ve iç mekân bitişlerinin sabit tutulması tasarım kararlarının maliyete etkisini izole etmek açısından yaygın bir yöntemdir (Bostancıoğlu, 2006; Parlak Biçer ve Karaaslan, 2022).

Bir diğerk önemli sınırlandırma, elektrik ve mekanik tesisat altyapı maliyetleri ile ilgilidir. Kablo, boru, kanal, armatür ve cihaz bedelleri; dağıtım şemaları, kolektörler ve şaft donanımları gibi kalemler üç senaryoda da benzer düzeyde olacağı ve yapım sistemi farklılığının bu kalemlerde ikincil düzeyde etkiler yaratacağı varsayılarak kapsam dışında bırakılmıştır. Bununla birlikte, CLT senaryolarında tesisat geçişlerine uygun şaft ve boşluk çözümünün daha kompakt kurgulanabilmesi sayesinde ortaya çıkabilecek net alan ve kesit verimliliği avantajları, maliyet analizinin değil, izleyen bölümlerdeki “net alan” ve “kesit verimliliği” tartışmalarının konusu yapılmıştır. Böylece taşıyıcı sistem seçiminin hem ekonomik hem de mekânsal sonuçları, farklı başlıklar altında ayrı ayrı değerlendirilebilecektir.

Yapı kabuğunun ötesinde peyzaj düzenlemesi, bahçe duvarları ve yapı çevresindeki sert zemin imalatları da maliyet analizine dahil edilmemiştir. Bu elemanlar, incelediğimiz üç yapım sistemi için büyük ölçüde aynı tasarım anlayışıyla ve benzer malzemelerle çözülebilecek, dolayısıyla sistem seçimiyle doğrudan ilişkisi zayıf olan kalemler olarak ele alınmıştır. İnşaat projelerinde maliyet tahmininin geçerli olabilmesi için, analizin hangi yaşam döngüsü aşamalarını ve hangi üretim bileşenlerini kapsadığının netleştirilmesi gerektiği ve özellikle ilk yatırım maliyeti odaklı çalışmalarda kullanım ve yıkım maliyetlerinin ayrı değerlendirilmesinin uygun olduğu çeşitli araştırmalarda vurgulanmaktadır (Bostancıoğlu, 2006; Parlak Biçer ve Karaaslan, 2022).

Bu tezde de kapsam, yalnızca ilk yapım maliyeti ile sınırlı tutulmuş; işletme, bakım-onarım ve yaşam döngüsü maliyetleri ayrıca modellenmemiştir.

Sonuç olarak, söz konusu kabuller ile; temel ve çatı gibi taşıyıcı sistemden bağımsız kalemler, özgün karakteri belirleyen cephe ve iç mekân elemanları ile tesisat ve peyzaj gibi tamamlayıcı bileşenler sabitlenmiş ve karşılaştırma, yalnızca seçilen yapının duvar ve döşeme strüktürünün üç farklı yapım sistemi ile yeniden inşa edilmesi senaryosu üzerinden yürütülmüştür.

5.4.3. Geleneksel Yapım Sistemi Maliyet Analizi

Geleneksel ahşap karkas senaryosu için maliyet hesabı, öncelikle yapının üç boyutlu modelinden türetilen ayrıntılı metraj cetveli üzerinden kurgulanmıştır. Bu metraj ölçüleri çıkartılırken Rhinoceros 3d ve TimberTech programının verdiği alan ve hacim

ölçüleri kullanılmış ve verilen değerler tabloda belirtilmiştir. Metraj Cetveli başlıklı tabloda, yapının genel geometrisine ilişkin brüt hacim ve alan değerleri ile geleneksel karkas sistemde kullanılan ahşap elemanların eleman bazında hacimleri ve duvar-döşeme kaplama alanları sistematik biçimde listelenmektedir.

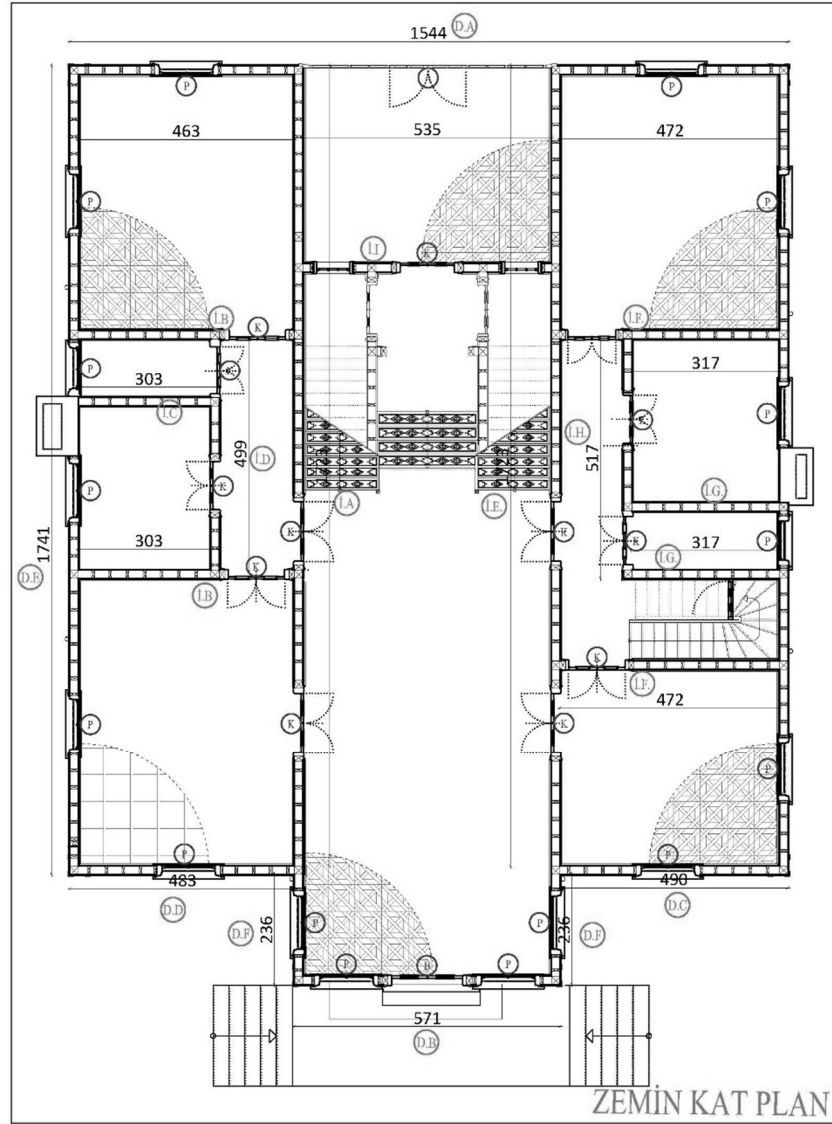
İlk satırda verilen 2540,52 m³'lük "Yapının genel m³ değeri", seçilen örnek konak için tüm katların toplam kapalı hacmini ifade etmektedir. Bu değer, daha sonra ahşap karkasın hacimsel payını ve duvar/döşeme kesitlerinin görece ağırlığını yorumlayabilmek için bir referans noktası olarak kullanılmaktadır.

Metraj cetvelinde "Yapı" başlığı altında ikinci satırda yer alan "Karkas için kullanılacak ahşap" satırı, tüm taşıyıcı ahşap elemanların hacimlerinin toplanmasıyla elde edilen 58,52 m³'lük toplam bir değer sunmaktadır. Bu toplama; ahşap yastık kirişleri, 180×180 mm kesitli ana dikmeler, 180×120 mm kesitli tekli ve çiftli ara dikmeler, farklı boylarda 180×180 mm payandalar, ara hatıllar ve kesiti 300×60 mm olan döşeme kirişleri dahildir. Söz konusu elemanların her biri için kesit boyutları (Uzunluk-Genişlik-Yükseklik), adet sayısı ve bunların çarpımıyla elde edilen m³ toplamı ayrı satırlarda gösterilmiş ve ardından bu satırlar "Karkas için kullanılacak ahşap" satırında tek bir hacim değeri altında birleştirilmiştir. Bu yaklaşım, hem taşıyıcı sistemin hacimsel büyüklüğünü tek bakışta görülebilir kılmakta hem de maliyet hesabında kullanılacak V.0208/002 ve V.2109 benzeri m³ bazlı pozların doğrudan bu değere bağlanmasını sağlamaktadır.

Çerçeve elemanlarının ardından, cetvelde "Döşeme kirişi" başlığı altında geleneksel sistemin kirişli döşeme çözümüne ilişkin hacim değerleri yer almaktadır. Temel üstü döşeme kirişleri ile birinci kat zemin ve tavan döşeme kirişleri için, 300×60 mm kesitli elemanlar üzerinden ayrı ayrı m³ hesapları yapılmış ve her bir döşeme düzlemi için ahşap kiriş hacimleri 12,854 m³, 11,629 m³ ve 12,854 m³ olarak belirlenmiştir. Böylece geleneksel sistemde, düşey taşıyıcı karkas ile yatay döşeme kirişlerinin hacimsel katkıları net biçimde ayrıştırılmaktadır. Bu hacimlerin tamamı, geleneksel pozlarda m³ birim fiyatla tanımlanan ahşap karkas/döşeme imalatları ile ilişkilendirilmektedir.

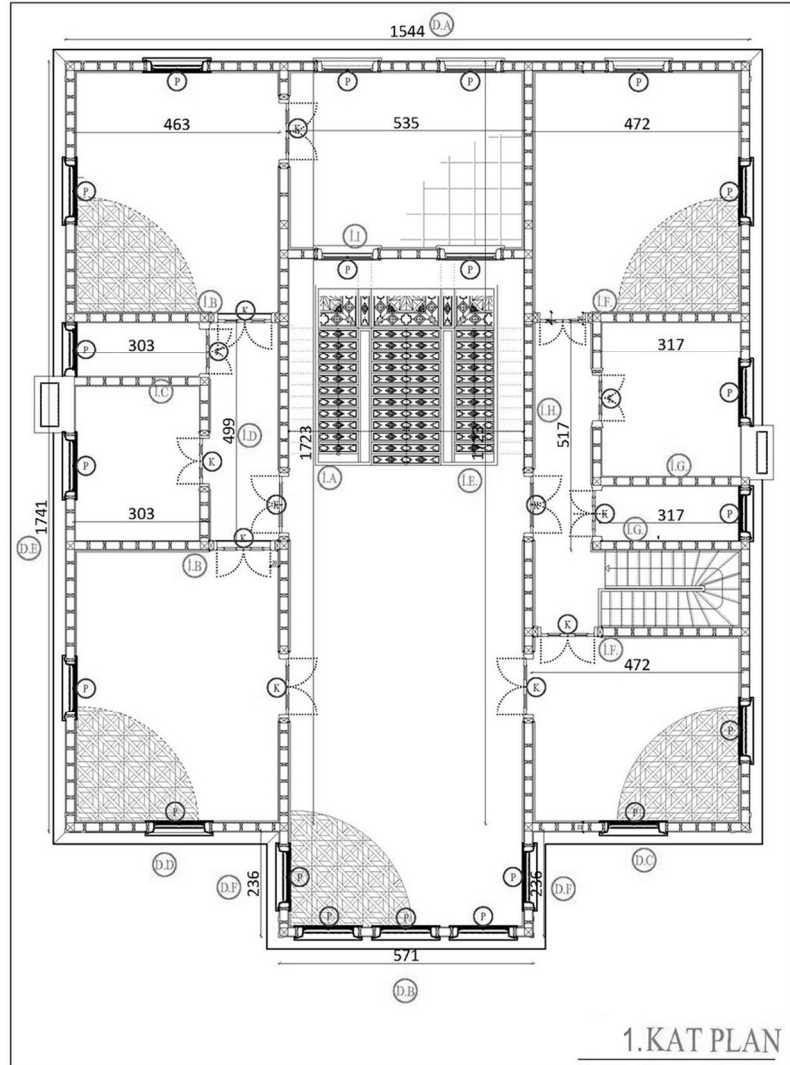
Duvarlara ilişkin metrajlar, cetvelde "Kaplama" başlığı altında, önce dış cephe, ardından iç duvar yüzeyleri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. "Duvar yüzeyleri – cephe duvarları" satırında verilen 496,92 m²'lik değer, dış kabuğu oluşturan tüm cephelerin toplam brüt alanını temsil etmektedir. Bu toplam, D.A (arka duvar), D.B (ön duvar),

D.C ve D.D (ön sağ/sol duvarlar), D.E (yan kenar duvarlar) ve D.F (kısa kenarlar) olarak adlandırılan duvar sınıflandırmaları için uzunluk × yükseklik × adet çarpımlarıyla elde edilen alanların toplanmasıyla bulunmuştur. Daha sonra “P (Pencereler)”, “A (Ana kapı)” ve “B (Arka kapı)” satırlarında negatif alanlar (Minha) ile brüt yüzeyden düşülmektedir. Örneğin 1,30×2,40 m ölçülerinde 37 adet pencere için –115,44 m², ana ve arka kapı için ise toplam –21,42 m² alan düşülerek net cephe kaplama alanı elde edilmiştir. Bu net alan, geleneksel senaryoda dış cephede kullanılan yalı baskı ahşap kaplama, buhar dengeleyici/su yalıtım örtüsü ve ısı yalıtımı gibi m² bazlı pozların birim fiyatlarıyla çarpılarak, cephe katmanlarının maliyetine doğrudan bağlanmaktadır.



Şekil 5.10: Yapı zemin kat planı, metraj tablosu için duvar elemanı isimleri.

Benzer mantık iç duvarlar için de izlenmiş, “Duvar yüzeyleri – iç duvarlar” satırında 483,44 m²’lik bir toplam net iç yüzey alanı hesaplanmıştır. Bu değeri oluşturan İ.A, İ.B, İ.C, İ.D, İ.E, İ.F, İ.G, İ.H ve İ.I kodlar ile sınıflandırılmış duvarlar için, her bir iç duvar parçasının uzunluğu ve kat yüksekliği (4,10 m) üzerinden m² alanlar hesaplanmıştır. Daha sonra “İç kapılar” satırında 1,20×2,80 m ölçülerinde 26 adet kapı için –87,36 m²’lik bir toplam boşluk alanı düşülmüştür (**Şekil 5.10**). Böylece iç mekânda geleneksel kaplama sistemi ile çözülen bölücü duvarların net kaplama alanı belirlenmiş ve bu alan, iç yüzey ahşap kaplaması pozlarıyla ilişkilendirilerek maliyet hesabına dahil edilmiştir. İç ve dış duvar yüzeylerinin bu şekilde iki ayrı grup altında toplanması, hem farklı malzeme katmanlarının (örneğin dışta yalı baskı, içte düz kaplama) maliyetlerinin birbirinden ayrıştırılmasını maliyet verilerinin kolayca ilişkilendirilmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 5.11: Yapı birinci kat planı, metraj tablosu için duvar elemanı isimleri.

Metraj cetvelinin son bölümünde, döşeme alanları üç seviye için ayrı ayrı hesaplanmıştır. “Bodrum–zemin kat arası döşeme” ve “Birinci kat–çatı kat arası döşeme” için 282,28 m², “Zemin– birinci kat arası döşeme” için ise 251,77 m²’lik net alanlar tanımlanmıştır. Bu değerler, plan düzlemi üzerinde (17,41 m × 15,44 m) + (2,36 m × 5,71 m) gibi dikdörtgenlerin alanlarının toplanması ve ana merdiven boşluğu (4,69m x 5,31m) ve hizmet merdiveni boşluğu (3,17m x 1,77m) çıkarılması ile elde edilmiş; her bir döşeme düzlemi için, geleneksel senaryoda öngörülen kadronlu ahşap döşeme ve tavan kaplaması pozlarıyla çarpılmak üzere m² cinsinden tekil metrajlar oluşturulmuştur. Böylece, döşeme imalatına ilişkin maliyetler hem kat bazında hem de kullanılan poz türüne göre ayrıştırılabilmektedir (**Şekil 5.11**).

Sonuç olarak, geleneksel yapım sistemi için hazırlanmış metraj cetveli (**Tablo 5.2**); karkas elemanları (m³), cephe ve iç duvar kaplamaları (m²) ve kat bazında döşeme alanları (m²) arasında tutarlı bir hiyerarşi kurmakta, her bir satırı doğrudan ilgili birim fiyat pozuna bağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Bu cetvel, bir sonraki alt başlıkta ayrıntılı biçimde sunulacak olan “Kullanılan pozlar ve sonuç olarak ortaya çıkan fiyat” tablosunun niceliksel altyapısını oluşturmakta ve böylece geleneksel ahşap karkas senaryosunun toplam maliyeti hem taşıyıcı ahşap hacmi hem de kaplama/yalıtım katmanlarının alanları üzerinden şeffaf ve izlenebilir bir biçimde ortaya konmaktadır.

Tablo 5.2: Yapının maliyet hesabı için oluşturulmuş “Metraj Tablosu”.

	İSİM	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik	Adet	Toplam
YAPI	YAPININ GENEL M3 DEĞERİ	[(17,41m × 15,44m) + (2,36 × 5,71)] X 9,00				2540,520 m ³
YAPI	KARKAS İÇİN KULLANILACAK AHŞAP	Karkas ve döşeme kirişi başlığı altındaki değerler toplamıştır.				58,515 m ³
YAPI	CLT DUVARLAR İÇİN KULLANILACAK MASİF AHŞAP	İç ve dış kaplama ölçülerine göre hesaplanmıştır.				117,643 m ³
YAPI	CLT DÖŞEME İÇİN KULLANILACAK MASİF AHŞAP	Döşeme alanı ölçülerine göre hesaplanmıştır.				130,613 m ³
KARKAS	Ahşap Temel Üstü Yastık Kiriş	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				3,932 m ³
	Ahşap 1.Kat Zemin Döşeme Yastık Kirişi	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				3,753 m ³
	Ahşap 1.Kat Tavan Döşeme Yastık Kirişi	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				3,753 m ³
	Ahşap Dikme - Ana Dikme (180x180)	0,18	0,18	4,10	82	10,893 m ³
	Ahşap Dikme - Çiftli Ara Dikme (180x120)	0,18	0,12	4,10	80	7,085 m ³
	Ahşap Dikme - Tekli Ara Dikme (180x120)	0,18	0,06	4,10	424	18,775 m ³
	Ahşap Payanda - a (180x180)	0,18	0,12	4,00	8	0,691 m ³
	Ahşap Payanda - b (180x180)	0,18	0,18	4,75	8	1,231 m ³
	Ahşap Payanda - c (180x180)	0,18	0,18	1,80	12	0,700 m ³
	Ahşap Payanda - d (180x180)	0,18	0,18	2,00	8	0,518 m ³
	Ahşap Payanda - e (180x180)	0,18	0,18	4,32	8	1,120 m ³
	Ahşap Payanda - f (180x180)	0,18	0,18	3,90	4	0,505 m ³
	Ahşap Ara Hatıllar	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				5,559 m ³
	Ahşap Temel Üstü Döşeme Kirişi (300x60)	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				12,854 m ³
DÖŞEME KİRİŞİ	Ahşap 1.Kat Zemin Döşeme Kirişi (300x60)	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				11,629 m ³
	Ahşap 1.Kat Tavan Döşeme Kirişi (300x60)	Ölçüler Programdan Otomatik Alınmıştır.				12,854 m ³
KAPLAMALAR	Duvar Yüzeyleri - Cephe Duvarları	TOPLAM M ²				496,92 m ²
	D.A (Arka Duvar)	15,44	4,50		2	138,96 m ²
	D.B (Ön Duvar)	5,71	4,50		2	51,39 m ²
	D.C (Ön Sağ Duvar)	4,90	4,50		2	44,10 m ²
	D.D (Ön Sol Duvar)	4,83	4,50		2	43,47 m ²
	D.E (Yan Kenar Duvar)	17,41	4,50		4	313,38 m ²
	D.F (Kısa Kenar)	2,36	4,50		4	42,48 m ²
	P (Pencereler)	1,30	2,40		-37	-115,44 m ²
	A (Ana Kapi)	5,35	2,80		-1	-14,98 m ²
	B (Arka Kapi)	2,30	2,80		-1	-6,44 m ²
	Duvar Yüzeyleri - İç duvarlar	TOPLAM M ²				483,44 m ²
	İ.A (Sol Kanat)	17,23	4,10		2	141,29 m ²
	İ.B. (Duvar)	4,63	4,10		4	75,93 m ²
	İ.C. (Duvar)	3,03	4,10		2	24,85 m ²
	İ.D. (Duvar)	4,99	4,10		2	40,92 m ²
	İ.E. (Sağ Kanat)	17,23	4,10		2	141,29 m ²
	İ.F. (Duvar)	4,72	4,10		4	77,41 m ²
	İ.G. (Duvar)	3,17	4,10		2	25,99 m ²
	İ.H. (Duvar)	5,17	4,10		1	21,20 m ²
	İ.I. (Duvar)	5,35	4,10		1	21,94 m ²
	İÇ KAPILAR	1,20	2,80		-26	-87,36 m ²
DÖŞEME ALANI	Bodrum-Zemin kat arası döşeme	(17,41m × 15,44m) + (2,36 × 5,71)				282,28 m ²
	Zemin-Üst kat arası döşeme	(17,41m × 15,44m) + (2,36m × 5,71m) - (4,69m × 5,31m) - (3,17m × 1,77m)				251,77 m ²
	Üst kat - Çatı kat arası döşeme	(17,41m × 15,44m) + (2,36 × 5,71)				282,28 m ²

5.4.3.1. Geleneksel Sistem için Kullanılan Pozlar ve Sonuç Olarak Ortaya Çıkan Fiyat

Geleneksel yapım sistemi için maliyet hesabı, “Pozlar” tablosundaki “Geleneksel sistem dış duvar”, “Geleneksel sistem iç duvar” ve üç farklı döşeme grubu (bodrum–zemin, zemin–birinci kat, birinci kat–çatı kat arası) üzerinden kurgulanmıştır. Bu tabloda her katman Kültür ve Turizm Bakanlığı (K.T.B. 2025) ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (Ç.Ş.İ.D.B. 2025) birim fiyat kitaplarındaki pozlara ya da bu pozlardan türetilmiş analiz satırlarına bağlanmaktadır. Böylece her bir katman için

malzeme, işçilik, zayıat, yardımcı malzeme (çivi, vida vb.), küçük ekipman, iskele, şantiye genel giderleri ve müteahhitlik kârı poz analizinin içinde gömülü kabul edilir; poz tariflerinde de anlatılmaktadır. Bu nedenle ayrı bir “işçilik” ya da “nakliye” satırı açılmamış, hesabın tamamı poz analizlerinin tarif ettiği kapsam üzerinden yürütülmüştür.

Öncelikle taşıyıcı karkas ve dış duvar katmanları için kullanılan pozlar ele alınabilir. “Geleneksel sistem dış duvar” başlığının altında ilk satırda yer alan V.0208/002 pozunun adı: I. Kalite Çam Kereste ile Ahşap İmalatta Kereste ve İşçilik Bedeli (100 cm² < kesit alanı < 225 cm²’den küçük keresteler için)” şeklindedir. Bu poz, kesit alanı belirli bir aralıkta kalan birinci sınıf çam keresteden üretilen tüm ahşap elemanlar için hem kereste malzemesini hem de imalat işçiliğini birlikte tanımlar. Görünür yerlerdeki taşıyıcı kirişler, taşıyıcı ızgaralar, duvara hem yüz kullanılan ahşap hatıl, ahşap lento, ahşap karkas yapılar da dikme, payanda ve yatay elemanlar, mahvel ızgaraları, ahşap döşeme kirişleri, vb. gibi imalatlar bu pozdan ödenmiştir. Poz analizinde, kerestenin uygun boylarda kesilmesi, işaretlenmesi, ağız ve birleşim detaylarının açılması, yerine yerleştirilmesi, montajda kullanılan çivi ve benzeri bağlantı elemanları, zayıat oranı ve işçilik bedeli, iş yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit karı ve genel giderler tek birim fiyat altında toplanmaktadır. Çalışmada bu poz, “Karkas için kullanılacak ahşap” satırında verilen 95,852 m³’lük toplam ahşap hacmine uygulanmıştır. K.T.B. 2025 birim fiyat kitabında pozun birim fiyatı 48.340,63 TL/m³ olarak verildiği için, geleneksel karkasın hazırlanması için yaklaşık 4.633.546 TL büyüklüğünde bir maliyet oluşmuştur. Bu kalem, kolon, kiriş, hatıl ve payandalar da dahil olmak üzere tüm taşıyıcı iskeletin “kereste + işçilik” bileşenini temsil eder.

Karkasın biyotik ve atmosferik etkilere karşı korunması için, aynı hacim üzerinden V.2109 – “Ahşabın Daldırma Yöntemi ile Emprenye Edilmesi” pozuna yer verilmiştir. Poz tarifi, biçilmiş ahşabın uygun kimyasal solüsyon içeren havuzlara belirli süreyle daldırılması, çıkarıldıktan sonra kurutulması ve kullanıma hazır hale getirilmesini kapsar. Kullanılan emprenye maddesi, havuz işletimi, işçilik ve zayıat bedelleri birim fiyata dahildir. Metraj tablosunda bu poz için de metraj 95,852 m³ olarak alınmış, birim fiyat 2.960 TL/m³ üzerinden 283.721,92 TL tutarında ikinci bir karkas koruma maliyeti hesaplanmıştır.

Dış duvarların iç yüzey ahşap kaplaması için, K.T.B. 2025 kitabındaki KTB.51.1001 – “Çam Kereste (1. Sınıf) ile 1,8 cm kalınlığında ahşap kaplama yapılması” pozuna başvurulmuştur. Poz, birinci sınıf çam kaplama tahtalarının hazırlanmasını, gerektiği ölçüde kesilmesini, birbirine alıştırılmasını, çakılmasını ve yüzeyde oluşturulan sürekli kaplamanın işçilik ve genel giderleriyle birlikte m² birim fiyatını tanımlar. Metraj olarak “Duvar Yüzeyleri – Cephe Duvarları” satırındaki 496,92 m² net cephe alanı kullanılmış ve birim fiyat 991,25 TL/m² ile çarpıldığında dış duvarların iç yüzey ahşap kaplaması için yaklaşık 492.572 TL’lik bir maliyet ortaya çıkmıştır.

Dış yüzeyde, geleneksel konak cephelerinin karakteristik elemanı olan yalı baskı için KTB.51.1003 – “1. sınıf çam kerestesi ile yalı baskısı yapılması” pozundan yararlanılmıştır. Bu pozda üç cm kalınlığında, kuru, budaksız ve rendelenmiş çamdan yalı baskı profilleri hazırlanması; profillerin rende ve zımpara işleri, lamba-zıvana veya benzeri birleşim detaylarıyla birbirine geçirilmesi, cepheye tespiti ve montaj işçiliği tarif edilir. Aynı 496,92 m² cephe alanı, birim fiyat 4.645,04 TL/m² ile çarpıldığında, yalı baskı dış kaplama için yaklaşık 2.308.213 TL tutarında bir maliyet hesaplanmıştır. Böylece sadece dış kabuğun ahşap kaplama katmanı, iç ve dış yüzeyler birlikte düşünüldüğünde, geleneksel senaryoda önemli bir maliyet bileşeni haline gelmektedir.

Duvar kesitinde nem ve ısı kontrolü için iki ayrı analiz satırı tanımlanmıştır. Birincisi, “ANALİZ 1 (5.341.4005’ten üretilmiştir.) – Su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü TS EN 13859-1,2 (su sızdırmazlık sınıfı WII, yangına dayanıklılık sınıfı A2)” satırıdır. Burada Ç.Ş.İ.D.B. 2025 kitabındaki 5.341.4005 numaralı pozdan hareketle, çatılarda kullanılan su yalıtım örtüsü tarifinin cephe uygulamasına uyarlanmış hali söz konusudur. Örtünün TS EN 13859-1 ve TS EN 13859-2 standartlarına uygun olması, su sızdırmazlık bakımından WII, yangına dayanım açısından ise A2 sınıfını sağlaması, analiz notunda açıkça belirtilmiştir. Metraj olarak yine 496,92 m² cephe alanı kullanılmış, analiz sonucu oluşan birim fiyat 121,625 TL/m² ile çarpıldığında su yalıtım örtüsü için yaklaşık 60.438 TL’lik bir maliyet ortaya çıkmıştır. Bu kalem, duvar kesiti içinde yağmur suyu ve rüzgâr etkilerine karşı ikinci bir bariyer oluşturmakta, aynı zamanda buhar geçişine izin vererek ahşap kesitin nem dengesinin korunmasına katkı sunmaktadır.

İkinci analiz satırı, “ANALİZ 2 (5.341.4005’ten üretilmiştir.) – $0,035 \leq$ ısı iletkenliği $<0,040$ W/(m·K) olan, 16 cm kalınlıkta kaplamasız camyünü şilte” başlığını taşımaktadır. Burada, aynı çatı pozunun malzeme ve işçilik bileşenleri kullanılarak, λ değeri 0,035–0,040 W/(m·K) aralığında olan 16 cm kalınlığında camyünü yalıtım tabakasının cephe uygulamasına ilişkin birim maliyeti üretilmiştir. Birim fiyat 300,375 TL/m³ olup, duvar içindeki yalıtım hacmi, cephe alanı ve tabaka kalınlığı üzerinden hesaplanmıştır. Metraj tablosunda bu analiz için “Duvar Yüzeyleri – Cephe Duvarları” metrajı kullanılarak yaklaşık 149.262 TL tutarında bir ısı yalıtımı maliyeti elde edilmiştir. Bu sayede, geleneksel duvar kesitinde ısı kayıplarını kontrol eden, sürekliliğı olan bir yalıtım katmanı sayısal olarak da tanımlanmıştır.

Dış duvarlarda tüm ahşap yüzeylerin son kat koruyucu uygulaması, V.2105/A1 – “Düz ahşap yüzeylere iki kat suya dayanıklı, nefes alabilen, yarı şeffaf (renkli) su bazlı ahşap koruyucu sürülmesi” pozuyla temsil edilmektedir. Poz tarifinde, uygulama öncesinde yüzeyin temiz, kuru ve tozsuz hale getirilmesi, gerekirse zımparalanması; ilk kat ile ikinci kat arasında belirli bir kuruma süresinin (genellikle 16 saat) beklenmesi; ikinci kat öncesi hafif zımpara yapılması gibi adımlar tanımlanır. Uygulamanın doğrudan güneş altında, yağışlı havada ya da çok nemli ortamda yapılmaması gerektiğı de pozun teknik şartlarında vurgulanmaktadır. Excel’de bu poz için de 496,92 m² cephe alanı kullanılmış; birim fiyat 826,81 TL/m² ile çarpıldığında, dış yüzey koruyucu uygulaması için yaklaşık 410.858 TL hesaplanmıştır.

Bu yedi kalem (V.0208/002, V.2109, KTB.51.1001, KTB.51.1003, Analiz 1, Analiz 2, V.2105/A1) birlikte değerlendirildiğinde, Excel tablosunda “Geleneksel sistem dış duvar” toplamı yaklaşık 8.338.612 TL olarak görünmektedir. Bu toplamın önemli bir bölümü karkas ve emprenye (yaklaşık 4,9 milyon TL), geri kalanı ise kaplama, yalıtım ve koruyucu katmanlardan oluşmaktadır.

İç mekân bölücü duvarlarda izlenen strateji, taşıyıcı sistemin maliyetini ikinci kez yazmamak üzerine kuruludur. “Geleneksel sistem iç duvar” başlığı altında tekrar listelenen V.0208/002 ve V.2109 pozlarında metraj sütunları 0 olarak bırakılmıştır. Çünkü bütün karkasın imalatı, karkas metrajının dış duvarlar altında toplam olarak alındığı ve iç duvarlar için tekrar hesaplanmadığı açıkça belirtilmiştir. İç duvarlarda aktif olan pozlar, yalnızca yüzey katmanlarıdır:

- KTB.51.1001 pozunda, iç bölücü duvarların her iki yüzeyinin 1,8 cm kalınlığında ahşap kaplama ile kaplandığı varsayılmıştır. Metraj olarak “Duvar Yüzeyleri – İç duvarlar” satırındaki 483,442 m²’lik tek yüz alan, her iki yüzey için iki ile çarpılarak 966,884 m² olarak alınmış ve bu durum poz notunda belirtilmiştir. Birim fiyat 991,25 TL/m² üzerinden iç kaplama için yaklaşık 958.424 TL’lik bir maliyet oluşmuştur.
- V.2105/A1 pozunda ise aynı iç duvar yüzeylerine iki kat su bazlı koruyucu uygulanmıştır. Aynı 966,884 m² metraj, birim fiyat 826,81 TL/m² ile çarpıldığında 799.429 TL’lik bir bedel ortaya çıkmıştır.

Bu iki kalem birlikte değerlendirildiğinde, “Geleneksel sistem iç duvar” toplamı yaklaşık 1.757.853 TL düzeyinde gerçekleşmektedir. Böylece, iç duvarlarda taşıyıcı iskelet maliyetinin dış duvar grubunun içinde tutulduğu, iç duvar pozlarının yalnızca kaplama ve koruyucu katmanları temsil ettiği açıkça görülmektedir.

Döşeme sisteminde de benzer bir mantık izlenmiştir. “Geleneksel sistem için bodrum-zemin kat arası döşeme” başlığında yer alan V.0208/002 pozunun metrajı boş olarak bırakılmış, açıklama notunda döşeme kirişlerini de içeren karkas hacminin dış duvarlar altında toplandığı ifade edilmiştir. Bodrum–zemin arası döşemenin esas maliyeti, V.2002/02 – “Temizi 2,8 cm kalınlıkta asgari 16 cm genişliğinde 1. sınıf çam kerestesi ile kadronlu ahşap döşeme yapılması” pozuyla karşılanmaktadır. Bu pozda, taşıyıcı kadronların yerleştirilmesi, lamba-zıvanalı döşeme tahtalarının döşenmesi ve ilgili işçilik + malzeme + genel gider bileşenleri m² bazında tanımlanır. Tablodaki metraj, “Bodrum–Zemin kat arası döşeme” satırındaki 282,28 m² alan üzerinden alınmış; birim fiyat 2.693,30 TL/m² ile çarpıldığında 760.265 TL’lik bir bodrum döşemesi maliyeti hesaplanmıştır.

“Geleneksel sistem için zemin kat-üst kat arası döşeme” başlığında, döşeme kesiti hem alttan görünen tavan kaplaması hem de üstten gelen döşeme kaplaması ile ele alınmaktadır. Alttan görülen tavan için V.1990/B04 – “1. Sınıf Çam Kerestesi ile Çift Yönlü (Kare veya Dikdörtgen), klasik profilli pasalı, 2 cm kalınlığında, 15–20 cm genişliğinde lamba zıvanalı ahşap tavan yapılması” pozuna göre 251,77 m² metraj alınmış ve birim fiyat 11.258,93 TL/m² ile çarpıldığında 2.834.661 TL’lik bir tavan kaplaması bedeli oluşmuştur. Aynı alan için, üstten gelen döşeme kaplaması yine V.2002/02 pozuyla tanımlanmış; 251,77 m² × 2.693,30 TL/m² çarpımıyla 678.092 TL

ilave maliyet bulunmuştur. Böylece zemin–birinci kat arası döşeme için toplam 3.512.753 TL seviyesinde bir maliyet elde edilmiştir.

“Geleneksel sistem için birinci kat- çatı arası döşeme” başlığında ise, çalışma kapsamı gereği yalnızca alttan görünen ahşap tavan kaplaması esas alınmıştır. Karkas maliyeti yine dış duvar grubunda tutulduğundan V.0208/002’nin metrajı sıfırdır; tavan kaplaması için V.1990/B04 pozunda “Birinci kat – Çatı kat arası döşeme” satırındaki 282,28 m² metraj kullanılmış; birim fiyat 11.258,93 TL/m² ile çarpıldığında 3.178.171 TL tutarında bir birinci kat tavan maliyeti hesaplanmıştır.

Tüm bu kalemler bir araya getirildiğinde, geleneksel senaryoda duvar ve döşeme sistemine ilişkin toplam maliyet 17.547.653,44 TL olarak görünmektedir. Bu toplam;

- yaklaşık 8,34 milyon TL ile taşıyıcı karkas ve dış duvar katmanlarını,
- yaklaşık 1,76 milyon TL ile iç duvar kaplama ve koruyucu katmanlarını,
- yaklaşık 7,45 milyon TL ile üç farklı döşeme düzleminin kadronlu döşeme ve ahşap tavan kaplamalarını

kapsamaktadır. Böylece, geleneksel yapım sistemi için kullanılan pozların her birinin hangi imalatı, hangi metraj üzerinden ve hangi analiz mantığıyla fiyatlandığı netleşmektedir.

5.4.4. Modern CLT Yapım Sistemi Maliyet Analizi

CLT rekonstrüksiyon senaryosu için maliyet hesabı da geleneksel karkas sistemde olduğu gibi, öncelikle yapının üç boyutlu dijital modelinden türetilen ayrıntılı bir metraj cetveli üzerinden kurgulanmıştır. Bu aşamada Rhinoceros 3D’de oluşturulan mimari kütle, TimberTech Buildings ortamında tanımlanan CLT panellerle ilişkilendirilmiş hem duvar hem döşeme panellerine ait alan ve hacim değerleri bu yazılımların verdiği çıktılar üzerinden okunarak tabloya işlenmiştir. Böylece, CLT sistem için hazırlanan metraj cetveli, aynı yapının geleneksel karkas senaryosu için hazırlanmış metrajıyla doğrudan karşılaştırılabilir bir geometrik altyapı sunmakta ve fark, yalnızca taşıyıcı elemanların sürekli panel mantığıyla yeniden tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

Geleneksel senaryoda “Yapının genel m³ değeri” satırında verilen 2 540,52 m³’lük brüt hacim değeri, CLT seçeneğinde de aynen korunmakta; bu satır yine yapının tüm

katlarıyla birlikte toplam kapalı hacmini ifade eden referans büyüklük olarak kullanılmaktadır. Ancak geleneksel çözümde bu hacmin içinde yer alan taşıyıcı ahşap, dikme, hatıl ve kirişlerin kesitleri ayrı ayrı çarpılarak 58,52 m³'lük "Karkas için kullanılacak ahşap" hacmine ulaşılırken, CLT senaryosunda taşıyıcı sistem artık noktasal elemanlardan oluşan bir karkas değil, sürekli duvar ve döşeme panelleri olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla metraj cetvelinde, karkas yerine "CLT duvar panelleri için kullanılacak masif ahşap hacmi" ve "CLT döşeme panelleri için kullanılacak masif ahşap hacmi" başlıkları altında iki ayrı hacim değeri öne çıkmaktadır.

Duvarlara ilişkin metrajda, CLT senaryosu doğrudan geleneksel sistem için hazırlanmış "Kaplamlar" bölümündeki alanlardan yararlanmaktadır. Bu bölümde yer alan "Duvar yüzeyleri – cephe duvarları" satırında 496,92 m², "Duvar yüzeyleri – iç duvarlar" satırında ise 483,44 m²'lik net yüzey alanı tanımlanmıştı. CLT duvar panellerinin tüm kabuğu kesintisiz olarak taşıdığı varsayıldığından, dış cephe ve iç bölücü duvarlar için bu iki değer toplanarak 980,36 m²'lik bir toplam duvar alanı elde edilmiştir. Çalışma kapsamında duvarlarda "CLT duvar paneli – 120 3s T, C24 dayanım sınıfında, 3 katmanlı, 120 mm kalınlığında, boyuna dişli eklerle birleştirilmiş çapraz lamine masif ahşap (XLAM)" kesiti esas alınmış; yani tüm taşıyıcı duvar panellerinin kalınlığı 0,12 m olarak kabul edilmiştir. Böylece CLT duvar panelleri için kullanılacak masif ahşap hacmi:

$$980,36 \text{ m}^2 (\text{toplam duvar alanı}) \times 0,12 \text{ m (panel kalınlığı)}$$

çarpımıyla yaklaşık 117,64 m³ olarak hesaplanmıştır. Metraj cetvelinde bu değer, "CLT duvar panelleri için kullanılacak masif ahşap" satırında tek bir hacim büyüklüğü olarak gösterilmekte; daha sonra CLT duvar panellerine ait m³ bazlı pozlar ve/veya analizlerle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Böylece, geleneksel sistemde çok sayıda dikme ve hatıl satırına dağılmış olan taşıyıcı duvar hacmi, CLT senaryosunda tek bakışta okunabilen, bütünlüklü bir panel hacmine indirgenmiştir.

Döşemelere ait metraj, yine geleneksel senaryoda kullanılan "Döşeme alanları" bölümündeki üç ayrı kat düzlemi üzerinden okunmaktadır. Metraj cetvelinde "Bodrum–zemin kat arası döşeme" ve "Birinci kat–çatı kat arası döşeme" için 282,28 m², "Zemin–birinci kat arası döşeme" için ise 251,77 m²'lik net alanlar tanımlanmıştı. CLT seçeneğinde, geleneksel kirişli döşemenin yerine "CLT döşeme paneli – 160 5s

L, C24 dayanım sınıfında, 5 katmanlı, 160 mm kalınlığında çapraz lamine masif ahşap (XLAM)” kesiti kullanılmakta; dolayısıyla tüm döşemelerde panel kalınlığı 0,16 m olarak kabul edilmektedir. Bu durumda her bir kat düzlemi için CLT döşeme paneli hacimleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

- Bodrum–zemin kat arası döşeme: $282,28 \text{ m}^2 \times 0,16 \text{ m} \approx 45,17 \text{ m}^3$
- Zemin–birinci kat arası döşeme: $251,77 \text{ m}^2 \times 0,16 \text{ m} \approx 40,28 \text{ m}^3$
- Birinci kat–atı kat arası döşeme: $282,28 \text{ m}^2 \times 0,16 \text{ m} \approx 45,17 \text{ m}^3$

Bu üç değeri toplandığında, CLT döşeme panelleri için kullanılacak toplam masif ahşap hacmi yaklaşık $130,61 \text{ m}^3$ ’e ulaşmaktadır. Metraj cetvelinde bu hacim, her bir kat düzlemi için ayrı satırda gösterilmekte; aynı zamanda “CLT döşeme panelleri için kullanılacak masif ahşap (toplam)” satırında $130,61 \text{ m}^3$ olarak özetlenmektedir. Bu yaklaşım, hem her kat için panel ihtiyacının bağımsız olarak izlenebilmesine, hem de CLT döşeme panellerine ait m^3 bazlı pozların tek bir toplam hacme bağlanabilmesine olanak tanımaktadır.

Kaplama, yalıtım ve membran metrajları açısından ise CLT senaryosu, geleneksel metraj cetvelindeki alan değerlerini doğrudan kullanmaktadır. Dış cephede, yalı baskı kaplaması metrajları yine $496,92 \text{ m}^2$ ’lik cephe alanı üzerinden hesaplanmaktadır. Böylece CLT ve geleneksel senaryoların aynı geometrik metrajlar üzerinden kıyaslanabilmesi sağlanmaktadır.

Sonuç olarak, hazırlanmış metraj cetveli $117,64 \text{ m}^3$ ’lük CLT duvar panelleri ve $130,61 \text{ m}^3$ ’lük CLT döşeme panelleri olmak üzere toplam yaklaşık $248,26 \text{ m}^3$ masif ahşap kullanımına işaret etmektedir. Bu değeri, yapının $2.540,52 \text{ m}^3$ ’lük brüt hacmiyle karşılaştırıldığında, CLT sistemde taşıyıcı ahşabın bina hacmine oranının yaklaşık %9,8 seviyesinde olduğunu göstermektedir. Karkas sistemdeki çubuk elemanlardan farklı olarak, CLT’de bu hacim kesintisiz duvar ve döşeme plakları şeklinde yoğunlaşmakta ve bu durum hem statik davranışta hem yangın, akustik ve ısı performansında farklı tasarım tartışmalarını beraberinde getirmektedir. Maliyet hesabının bir sonraki aşamasında bu metraj cetveli CLT panellerine ve onlarla birlikte çalışan kaplama/yalıtım katmanlarına ait pozlarla ilişkilendirilerek, modern endüstriyel sistemin toplam maliyeti duvar ve döşeme bazında ayrıntılı biçimde ortaya konacaktır.

5.4.4.1. Modern CLT Sistem için Kullanılan Pozlar ve Sonuç Olarak Ortaya Çıkan Fiyat

Metraj cetvelinde, CLT duvar panelleri için 117,64 m³, CLT döşeme panelleri için 130,61 m³ olmak üzere toplam 248,26 m³ masif ahşap kullanıldığı görülmektedir. Bu iki değer, “CLT Duvarlar İçin Kullanılacak Masif Ahşap” ve “CLT Döşeme İçin Kullanılacak Masif Ahşap” satırlarında ayrı ayrı verilmiş; “Toplam Kullanılan CLT Malzeme” satırında ise 248,256 m³ olarak özetlenmiştir. ANALİZ 3’ün temelinde, bu toplam hacmi temsil eden tek bir “CLT İmalatı” pozunun tanımlanması yer almaktadır.

Bu bileşik pozun kurulabilmesi için üç farklı firma ile yapılan görüşmelerden elde edilen fiyatlar bir araya getirilmiştir:

ATT firması ile yapılan görüşme sonucunda CLT projelerinde şantiye ölçeğinde uygulama için, nakliye, işçilik, vinç kullanımı ve müteahhitlik kârı dahil olacak şekilde 800–1200 €/m³ aralığında bir genel bedel bildirilmiştir. Çalışmada bu aralığın ortası alınarak 1.000 €/m³ kabul edilmiştir. Bu tutar, malzemenin içinde bulunmadığı; panellerin sahaya getirilmesi, montaj işçiliği, şantiye genel giderleri ve yüklenici kârını içeren bir “hizmet + montaj” bileşeni olarak yorumlanmıştır.

Pheifer ile yapılan görüşmeler ile CLT panellerin malzeme bedeli için, C24 dayanım sınıfında “CLT floor – 160 5s L – 5 katmanlı, 160 mm kalınlığında XLAM döşeme paneli” için 554,6 €/m³ = ₺24.535,50 ve “CLT wall – 120 3s T – C24, 3 katmanlı, 120 mm kalınlığında, jointed XLAM duvar paneli” tipleri için 564,0 €/m³ = ₺24.951,36 birim fiyat verilmiştir. Bu fiyat, ek olarak panellerin fabrika çıkışı uygun pencere ve kapıların yerlerinin kesimi ve döşeme boşluklarının açılması için m² fiyatı döşeme için 9 €/m² = ₺398,16 ve duvar için 11 €/m² = ₺486,64 fabrikada işçilik ücreti eklenmiştir. Standart nakliye Pfeifer firmasının Almanya’daki fabrikasından Türkiye’ye nakli için 4000€ = ₺176.960,00 içermektedir. Bu fiyatların totali montaj işçiliğini kapsamamaktadır.

Rothoblaas firmasından istenilen teklif sonucunda CLT panellerin birbirine ve betonarme temele bağlanması için gerekli metal bağlantı elemanları (örneğin WHT40 duvar ayakları, FIX420 kimyasal ankrajlar, HBS 8×100 vida, LBA 4,0×60 çivi, LBSH 5,0×50 ve VGS 9×140 vidalar vb.) için adet bazında bir teklif iletilmiş ve her bağlantı tipi için birim fiyatlar girilerek toplam bağlayıcı maliyetleri hesaplanmıştır.

Tüm bu rakamlar 2025 yılı için sabit kabul edilen döviz kuru ile Türk lirasına çevrilmiştir. Çalışma boyunca, daha önce 5.4.1 başlığında da belirtildiği üzere, 1 avro = 44,240 TL olarak sabit alınmış ve tüm CLT maliyet bileşenleri bu kur üzerinden hesaplanmıştır. Bu çerçevede ANALİZ 3 şu şekilde kurgulanmıştır (**Tablo 5.3**):

Tablo 5.3: CLT imalatı genel hesap tablosu.

MARKA	İŞ TANIMI / MALZEME İSMİ	BİRİM	METRAJ	BİRİM FİYAT	TOPLAM
1	İşçilik (CLT ve Bağlantı İşçiliği), Şantiye Giderleri, Müteahhitlik Kârı	m ³	248,26	₺44.240,00	₺10.982.856,06
2 Pfeifer	CLT floor - 160 5s L - C 24 XLAM - 5 layers - Thickness 160 mm	m ³	130,61	₺24.951,36	₺3.258.966,99
3 Pfeifer	CLT wall - 120 3s T - C 24 XLAM - 3 layers - Thickness 120 mm - Jointed	m ³	117,64	₺24.535,50	₺2.886.441,09
4 Pfeifer	Duvar için Fabrikada Kesim Ücreti (Pencere ve kapı metraji alınmıştır.)	m ²	136,86	₺486,64	₺66.601,55
5 Pfeifer	Döşeme için Fabrikada Kesim Ücreti (Merdiven boşlukları metraji alınmıştır.)	m ²	30,51	₺398,16	₺12.147,86
6 Pfeifer	Nakliye (Almanya'dan Türkiye'ye Nakliyet Ücreti)	m ³	1,00	₺176.960,00	₺176.960,00
7 Rotho Blaas	WHT40 WHT 40	adet	228,00	₺1.517,85	₺346.069,80
8 Rotho Blaas	NINO100100 NINO 100x100	adet	380,00	₺124,65	₺47.367,00
6 Rotho Blaas	WHTW8024 Washer - WHTW8024	adet	4,00	₺303,75	₺1.215,00
7 Rotho Blaas	INA5824330 Threaded rod INA - 5.8 - M24 x 330	adet	100,00	₺341,20	₺34.120,00
8 Rotho Blaas	INA5812140 Threaded rod INA - 5.8 - M12 x 140	adet	388,00	₺37,08	₺14.387,04
9 Rotho Blaas	MGS100024 Threaded rod MGS - 4.8 - M24	adet	64,00	₺359,60	₺23.014,40
10 Rotho Blaas	EPO585 Epoxy chemical anchor ETA-23/0419	adet	100,00	₺1.815,75	₺181.575,00
11 Rotho Blaas	FIX420 Vinylester chemical anchor ETA-20/0363	adet	388,00	₺551,25	₺213.885,00
12 Rotho Blaas	HBS8100 HBS 8 x 100	adet	5.375,00	₺8,48	₺45.580,00
13 Rotho Blaas	LBA460 Anker nail - LBA 4,0 x 60	adet	11.738,00	₺1,51	₺17.706,77
14 Rotho Blaas	LBSH550 Screw - LBSH 5,0 x 50	adet	5.120,00	₺5,24	₺26.808,32
15 Rotho Blaas	VGS9140 Screw - VGS 9 x 140	adet	372,00	₺27,23	₺10.129,56
TOPLAM:					₺18.345.831,45

İşçilik (CLT ve Bağlantı İşçiliği), Şantiye Giderleri, Müteahhitlik Kârı:

ATT'den alınan 1.000 €/m³ bedel, sabit kurla 44.240 TL/m³'e karşılık gelmektedir. Bu bedel, toplam CLT hacmi 248,256 m³ ile çarpıldığında, "CLT Malzeme" sayfasında görüldüğü üzere yaklaşık 10.982.856 TL tutarında bir hizmet + lojistik maliyeti üretmektedir.

CLT panel malzemesi (duvar + döşeme): Pfeifer'den duvar için alınan 554,60 €/m³ panel bedeli, aynı kur varsayımıyla 24.951,36 TL/m³'e ve döşeme için 55,0 €/m³ panel bedeli, aynı kur varsayımıyla 24.535,50 TL/m³'e denk düşmektedir. Metrajda CLT

döşeme panelleri için 130,61 m³, CLT duvar panelleri için 117,64 m³ hacim hesaplandığından, bu iki hacmin toplamı olan 248,26 m³ üzerinden panel maliyeti yaklaşık ₺6.145.408,09 seviyesine ulaşmaktadır (döşemeler için 3.258.966,99 TL, duvarlar için 2.886.441,09 TL).

Bu fiyat, ek olarak panellerin fabrika çıkışı uygun pencere ve kapıların yerlerinin kesimi ve döşeme boşluklarının açılması için m² fiyatı döşeme için 9 €/m² = ₺398,16 ve duvar için 11 €/m² = ₺486,64 fabrikada işçilik ücreti eklenmiştir. Metraj tablosundaki pencere ve kapı metrajlarını (136,86 m³) “Duvar için Fabrikada Kesim Ücreti” başlığı ile çarptığımızda ₺66.601,55; merdiven boşluklarının metrekaresi (30,51 m²) ile “Döşeme için Fabrikada Kesim Ücreti” başlığı çarpıldığında ise ₺12.147,86 ücret elde edilmiştir. Standart nakliye Pfeifer firmasının Almanya’daki fabrikasından Türkiye’ye nakli için 4000€ = ₺176.960,00 içermektedir. Bu fiyatların totali montaj işçiliğini kapsamamaktadır.

Bağlantı elemanları için: Rothoblaas teklifleri doğrultusunda, WHT40, FIX420, HBS 8×100, LBA 4×60, LBSH 5×50 ve VGS 9×140 gibi bağlantı ürünleri için adet bazında metraj çıkarılmış; her bir ürünün birim fiyatı ile çarpılarak toplam bağlayıcı maliyeti elde edilmiştir.

Tabloda “TOPLAM” satırından görüldüğü gibi, bağlantı elemanlarının toplam bedeli yaklaşık 1.029.898 TL’dir. Bu tutar, CLT sistemine ilişkin toplam maliyetin yaklaşık %5,9’una karşılık gelmektedir (**Tablo 5.3**).

Bu üç bileşen birleştirildiğinde, CLT sistemine ilişkin toplam özel maliyet şu şekilde özetlenebilir:

- Hizmet + Montaj (ATT): ≈ 10.982.856 TL
- CLT paneller (Pheifer): ≈ 6.401.117,50TL
- Bağlantı elemanları (Rothoblaas): ≈ 1.029.898 TL

Toplamda 18.345.831,45 TL’lik bir “CLT malzeme ve montaj” bedeli elde edilmektedir. Bu değer, toplam CLT hacmi olan 248,26 m³’e bölündüğünde, “POZLAR” sayfasında yer alan “CLT İmalatı” pozunun birim fiyatı bulunur:

$$18.345.831,45 \text{ TL} / 248,26 \text{ m}^3 \approx 73.898,77 \text{ TL/m}^3$$

Dolayısıyla ANALİZ 3 ile tanımlanan “CLT İmalatı” pozunun birim fiyatı 73.898,77 TL/m³tür. Bu bileşik poz, hem CLT Opt-1 hem de CLT Opt-2 senaryolarında tüm duvar ve döşeme panelleri için ortak bir “taşıyıcı sistem maliyet katsayısı” olarak kullanılmıştır.

5.4.4.2. CLT Opt-1: Yalıtımlı Dış Duvarlı Senaryo

CLT Opt-1 senaryosunda, taşıyıcı sistem her iki seçenekte de aynı kalmakta; fark, dış duvar kesitinde tanımlanan ilave ısı yalıtım tabakasından kaynaklanmaktadır. “Pozlar” tablosunda “CLT OPT1 Dış Duvar” başlığı altında şu pozlar yer almaktadır:

CLT İmalatı (ANALİZ 3) – m³ bazında, birim fiyat 73.898,77 TL/m³ olup toplam CLT hacmi 248,26 m³ üzerinden yaklaşık 18.345.831,45 TL bedel üretmektedir. Bu kalem, tüm CLT duvar ve döşeme panellerinin imalatını, sahaya naklini, montajını, vinç kullanımını ve müteahhitlik kârını birlikte içerir.

KTB.51.1003 – “1. sınıf çam kerestesi ile yalımbaskısı yapılması” – Geleneksel senaryoda olduğu gibi, dış cephede binanın özgün görünümünü sağlayan yalı baskı kaplama aynen korunmuştur. Cephe duvarları için metraj 496,92 m² alınmış; 2025 birim fiyatı 4.645,04 TL/m² ile çarpıldığında, CLT Opt-1’de yalı baskı için yaklaşık 2.308.213 TL maliyet ortaya çıkmaktadır.

PTT 2025 / 771051004 – “8 cm kalınlıkta taş yünü ısı yalıtım levhaları” – CLT Opt-1’i Opt-2’den ayıran temel katman bu ısı yalıtımıdır. Cephe yüzeyinde, CLT panel dışına uygulanmak üzere 8 cm kalınlığında taş yünü levha öngörülmüş, metraj yine 496,92 m² olarak alınmıştır. PTT 2025 birim fiyatı 3.366,13 TL/m² kabul edildiğinde, taş yünü yalıtım maliyeti yaklaşık 1.672.697 TL’ye ulaşmaktadır.

Analiz 1 (5.341.4005’ten türetilen su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü) – Geleneksel duvar kesitinde olduğu gibi, CLT dış duvarlarda da taş yünü ve kaplama arasında nefes alabilen bir su yalıtım örtüsü öngörülmüştür. Poz, TS EN 13859-1,2 standartlarına uygun, WII su geçirimsizlik sınıfında ve A2 yangın sınıfında bir örtünün m² bazlı uygulanmasını tarif eder. 2025 birim fiyatı 121,625 TL/m² olup, 496,92 m² alan üzerinden yaklaşık 60.438 TL maliyet üretmektedir.

V.2105/A1 – “Düz ahşap yüzeylere iki kat suya dayanıklı, nefes alabilen su bazlı koruyucu sürülmesi” – Hem yalı baskı hem de dışta görünen diğer ahşap yüzeylerde

aynı koruyucu sistem uygulanmaktadır. 496,92 m²'lik cephe alanı için, birim fiyat 826,81 TL/m² üzerinden 410.858 TL tutarında bir koruyucu kaplama maliyeti ortaya çıkmaktadır.

Bu beş kalem toplandığında, CLT Opt-1 dış duvar kesiti için toplam yaklaşık 21.956.390 TL'lik bir bedel oluşmaktadır. Dış duvarların yanı sıra, CLT Opt-1 senaryosunda döşemeler için de geleneksel çözümle uyumlu ahşap kaplama tercih edilmiştir:

Bodrum–zemin kat arası döşeme: V.2002/02 pozuna göre 282,28 m² alan için 760.265 TL,

Zemin–birinci kat arası döşeme: aynı poz için 251,77 m² alan üzerinden 678.092 TL.

Birinci kat–çatı katı arasındaki döşeme, CLT panel ve çatı sistemi ile çözüldüğü için bu senaryoda ilave kaplama maliyeti öngörülmemiş, metraj boş bırakılmıştır. Tüm bu kalemler bir araya getirildiğinde, CLT Opt-1 senaryosunda duvar ve döşeme sistemine ilişkin toplam maliyet yaklaşık 24.236.395.23 TL'dir.

5.4.4.3. CLT Opt-2: Yalıtımsız Dış Duvarlı Senaryo

CLT Opt-2 senaryosunda taşıyıcı CLT sistemi, panel kalınlıkları ve bağlantı elemanları aynıdır. Dolayısıyla ANALİZ 3 ile tanımlanan “CLT İmalatı” pozunun birim bedeli yine 73.898,77 TL olarak korunmaktadır. Fark, dış duvar kesitinde taş yünü ısı yalıtım tabakasının tamamen kaldırılması ve duvar kalınlığının yalnızca CLT panel + kaplama katmanlarından oluşacak şekilde sadeleştirilmesidir.

“POZLAR” tablosundaki “CLT OPT2 DIŞ DUVAR” başlığında şu pozlar yer almaktadır:

CLT İmalatı (ANALİZ 3) – toplam CLT hacmi için yine 18.345.831,45 TL,

KT.B.51.1003 – yalı baskı çam kaplama – 496,92 m² üzerinden 2.308.213 TL,

Analiz 1 – su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü – 496,92 m² üzerinden 60.440 TL,

V.2105/A1 – su bazlı ahşap koruyucu – aynı alan üzerinden 410.858 TL.

Bu dört kalemin toplamı, CLT Opt-2 dış duvarları için yaklaşık 21.125.343,53 TL'lik bir maliyet üretmektedir. Taş yünü ısı yalıtımının devre dışı bırakılması, Opt-1 ile kıyaslandığında dış duvar maliyetini yaklaşık 1.672.697,31 TL azaltmaktadır.

Döşeme kaplamaları bakımından, CLT Opt-2 senaryosu CLT Opt-1 ile aynıdır. Bu durumda verilen toplam bedel yaklaşık 22.563.700,40 TL'dir.

CLT Opt-1 ve Opt-2 arasındaki fark, bütünüyle dış duvar kesitinde yer alan 8 cm taş yünü ısı yalıtım tabakasından ve bu tabakayı taşıyan yardımcı katmanlardan kaynaklanmaktadır. Bu ek yalıtım katmanı Opt-1 senaryosunda toplam maliyeti 24.236.395,23 TL ($\approx 45.382,26$ TL/m²) düzeyine taşırken, yalıtımsız Opt-2 senaryosunda toplam maliyet 22.563.700,40 TL ($\approx 42.250,16$ TL/m²) seviyesinde kalmaktadır. Başka bir deyişle, Opt-1'in Opt-2'ye göre maliyet farkı 1.672.694,83 TL, yani birim alanda yaklaşık 3.132,09 TL/m² mertebesinde.

Bu değerler, ilerleyen bölümlerde duvar kalınlığı, ısı performans ve net kullanım alanı kaybı gibi mimari ve fiziksel kriterlerle birlikte yeniden yorumlanacak; böylece CLT Opt-1 ve Opt-2 senaryolarının maliyet-performans dengesi, geleneksel karkas sistemle birlikte bütüncül biçimde değerlendirilecektir.

5.4.5. Üç Yapım Sisteminin Toplam Maliyet Açısından Karşılaştırılması

Bu bölümde, aynı tarihi konak geometrisi için hesaplanan geleneksel ahşap karkas, CLT Opt-1 (yalıtlı dış duvar) ve CLT Opt-2 (yalıtımsız dış duvar) senaryolarının yalnızca duvar ve döşeme sistemlerine ait ilk yapım maliyetleri karşılaştırılmaktadır. Temel, su basmanı, çatı biçimi ve kaplaması, doğramalar, iç mekân süslemeleri, tesisat ve peyzaj gibi maliyeti etkileyen ancak üç senaryoda da sabit varsayılan kalemler bu karşılaştırmanın dışında tutulmuştur. Böylece tablolar, aynı mimari kabuk için yalnızca taşıyıcı sistem ve ona bağlı kaplama/yalıtım katmanlarının parasal etkisini göstermektedir.

Metraj ve poz analizleri sonucunda, geleneksel ahşap karkas sistemin duvar ve döşeme bileşenleri için toplam maliyeti 17.547.653,44 TL olarak hesaplanmıştır. Aynı yapı için CLT panellerle çözülen Opt-1 senaryosunda (120 mm CLT duvar + 160 mm CLT döşeme + 8 cm taş yünü ısı yalıtımı) toplam maliyet 24.236.395,23 TL'ye, Opt-2 senaryosunda (yalıtımsız 120 mm CLT duvar + 160 mm CLT döşeme) ise

22.563.700,40 TL'ye ulaşmaktadır. Başka bir deyişle, CLT Opt-1 geleneksel sisteme göre 6.688.741,79 TL daha pahalıdır; bu fark ilk yapım maliyeti açısından yaklaşık %38,1'lik bir artışa karşılık gelmektedir. CLT Opt-2 ile geleneksel sistem arasındaki fark 5.016.046,96 TL düzeyinde olup, yaklaşık %28,6 oranında bir maliyet artışı anlamına gelmektedir. İki CLT seçeneği kendi içinde karşılaştırıldığında ise, yalnızca dış duvar ısı yalıtımının eklenmesi toplam bedeli 1.672.694,83 TL artırmakta ve Opt-1'i Opt-2'ye göre yaklaşık %7,4 daha maliyetli kılmaktadır.

Yapının yaklaşık 534,05 m²'lik kapalı alanı baz alındığında, bu toplamalar birim alan maliyeti cinsinden yeniden okunabilir. Buna göre, geleneksel sistemde duvar ve döşeme için $\approx 32.857,70$ TL/m², CLT Opt-2'de $\approx 42.250,16$ TL/m², CLT Opt-1'de ise $\approx 45.382,26$ TL/m² düzeyinde ilk yapım maliyeti ortaya çıkmaktadır. Böylece, CLT'ye geçişin yalnızca taşıyıcı sistem tipinin değişmesi anlamına gelmediği; ithal masif panel, montaj lojistiği ve özel bağlantı elemanları nedeniyle aynı mimari senaryo için m² başına ek bir maliyet getirdiği görülmektedir.

Sonuç olarak, ilk yapım maliyeti perspektifinden bakıldığında en düşük maliyetli çözüm geleneksel ahşap karkas sistem olarak görünmektedir. CLT Opt-2, daha sade duvar kesiti sayesinde bu değer belirsiz biçimde üzerinde, ancak Opt-1'e göre daha kontrollü bir maliyet düzeyi sunmaktadır. CLT Opt-1 ise, dış duvarlarda ek ısı yalıtımı sayesinde daha yüksek ısıl performans ve daha ince kesit avantajı sağlama potansiyeline rağmen, üç senaryo içinde en yüksek ilk yatırım maliyetine sahip alternatiftir. İlerleyen bölümlerde, bu sayısal farklar; duvar kalınlığı, net kullanım alanı, enerji tüketimi ve bakım/onarım kolaylığı gibi mimari ve performans ölçütleriyle birlikte yeniden tartışılarak, maliyet–performans dengesinin bütüncül bir çerçevede yorumlanması hedeflenmiştir.

5.5. Mimari Karşılaştırma

Bu bölüm, aynı ahşap köşkün rekonstrüksiyonunda önerilen iki taşıyıcı mantığın üç kesitin –geleneksel ahşap karkas + kirişli döşeme ile CLT panelli sistemin– yalnızca strüktürel ve maliyet boyutlarıyla değil, doğrudan mimari sonuçları üzerinden de yan yana okunmasını amaçlamaktadır. Ahşap yapı sistemlerine odaklanan çalışmalar özellikle masif ahşap panellerin ve hafif iskelet sistemlerin duvar kalınlığı, döşeme derinliği, açıklık oranları ve cephe kurgusu üzerinden plan verimi, hacim oranları ve

mekânsal atmosferi belirleyen başlıca araçlara dönüştüğünü vurgular (Falk, 2005). Rekonstrüksiyon bağlamında bu parametreler salt tercih olmaktan çıkar ve net kullanım alanı, kat yüksekliği, doğal ışığın yayılımı, servis boşluklarının çözümlenmesi ve cephe derinliği gibi ölçülebilir mimari etkiler üretir. Buna ek olarak, ısı yalıtımı ve U-değerleri üzerinden kabuğun termal performansı; TS 825 çerçevesinde kabul edilen limitlerle birlikte okunduğunda duvar kalınlığı ve katman dizilişinin yalnızca mekânsal değil, enerji verimliliği ve konfor açısından da belirleyici olduğu görülmektedir.

5.5.1. Değişen Duvar Kalınlıkları (Net Alan ve Kabuk Etkisi)

Bu bölümde aynı konak için iki yaklaşımda kullanılan duvar ve döşeme kalınlıklarının mekân ve kabuk üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Proje için yapılan statik ve dinamik hesaplamalar sonucunda ele alınan kabuller:

- Geleneksel Karkas dış duvar için $\approx 24,0$ cm
- CLT dış duvar “Opsiyon 1” için $\approx 24,0$ cm
- CLT dış duvar “Opsiyon 2” için $\approx 16,0$ cm
- Geleneksel döşeme için $\approx 37,0$ cm
- CLT döşeme için ≈ 19 cm. olarak belirlenmiştir.
- Geleneksel Karkas iç duvar için $\approx 22,0$ cm
- CLT dış duvar “Opsiyon 1 ve Opsiyon 2” için $\approx 12,0$ cm

Ayrıca proje için çalışılan köşk $(17,41\text{m} \times 15,44\text{m}) + (2,36 \times 5,71) = 282,28 \text{ m}^2$ ölçülerindedir.

Dış sınırlar sabitken, duvar kalınlığının $24,0$ cm’den $16,0$ cm’ye düşmesi, iç ölçülerde her doğrultuda $0,08$ m artışa karşılık gelir. İç duvar kalınlıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu sebeple mekân artışına sadece dış duvarlar sebep olmaktadır. Oturum alanı $282,28 \text{ m}^2$ olan yapıda sadece dış duvarlardan kaynaklanan yaklaşık net alan artışı:

$$\Delta A \approx 0,08 \cdot (2L_1 (17,41) + L_2 2(2,36) + 2W_1 (15,04)) \approx 5,56 \text{ m}^2/\text{kat}.$$

İki katlı bir kurguda bu fark toplam $\approx 11,12 \text{ m}^2$ ölçüsünde bir ilaveye karşılık gelir.

İç duvarlar için durum geleneksel karkas iç duvarlar için $22,0$ cm ölçülerinde olan duvar CLT Opt1 ve Opt2 için $12,0$ cm ölçülerine düşmüş ve 10 cm derinliğinde bir

mekân kazancı sağlamıştır. Temiz (süpürülebilir) alan kazancını hesaplamak için “Metraj Cetveli” tablosundaki Kaplamalar üst başlığı altındaki “Duvar Yüzeyleri – İç Duvarlar” başlığındaki duvar sınıflandırmalarının sadece uzunluk ölçüleri sütunu adet sütunu ile çarpılarak toplanmış; geleneksel karkas sistemin iç duvarının döşemeye oturduğu alanı hesaplamak için 0,22 m ile çarpılmıştır. CLT duvarın döşemeye oturduğu alanı bulmak için ise aynı uzunluk ölçüleri 0,12 m ile çarpılmıştır. İkisi arasındaki fark bize iç mekanlardaki alan kazancını vermektedir.

$$(2 \times 17,23\text{m} + 2 \times 4,63\text{m} + 2 \times 3,03\text{m} + 2 \times 4,99\text{m} + 2 \times 17,23\text{m} + 4 \times 4,72\text{m} + 2 \times 3,17\text{m} + 5,17\text{m} + 5,35\text{m}) \times (0,22\text{m} - 0,12\text{m}) \approx 12,99 \text{ m}^2 / 2\text{kat}.$$

Sonuç olarak CLT Opt1 için 12,99 m² kazanç sağlanırken, CLT Opt2 için bu toplam alan kazancı 24,11 m² kazanca tekabül etmektedir.

Yapının oturma alanını kat adedi ile çarpıp kazandığımız alan ile oranladığımızda CLT Opt1 için %4,60, CLT Opt2 için %8,54 alanın temiz açıklığa eklenebildiği görülmektedir.

$$(17,41\text{m} \times 15,44\text{m}) + (2,36 \times 5,71) / 12,99 \approx \%4,60$$

$$(17,41\text{m} \times 15,44\text{m}) + (2,36 \times 5,71) / 24,11 \approx \%8,54$$

Sözü edilen büyüklük dolaşım genişliklerinin yeniden dengelenmesi, ıslak hacimlerde servis elemanlarının daha rasyonel yerleştirilmesi, gömme dolap/niş gibi depolama çözümlerinin akıcı biçimde örgütlenmesi ve kapı açıklıklarının yer değiştirmesinde artan esneklik vermektedir. Neticede Karkas 24,0 cm ↔ CLT-1 24,0 cm arasında plan verimi çerçeve için eşdeğerdir fakat Karkas 24,0 cm → CLT-2 16,0 cm geçişinde ise ölçülebilir bir alan kazanımı söz konusudur.

Döşeme kesitleri bakımından tablo benzer şekilde nettir. Geleneksel kirişli döşeme yaklaşık 37 cm’lik bir toplam kalınlığa sahiptir. CLT panelin yerleştiği ≈ 19 cm’lik yalın bir kesit önerir. Katlar arası yapı yüksekliği sabit tutulduğunda, bu dönüşüm ≈ 18 cm temiz kat yüksekliği artışı anlamına gelir.

İç mekân algısı açısından tavan düzleminin yükselmesi, doğal aydınlığın yayılım derinliğini artırır ve hacmin psikolojik etkisini güçlendirir. Uygulama pratiğinde ise asma tavan altındaki servis düzeninin sağlanmasında kolaylık sağlar. Geleneksel kirişli döşemede boşluk içi katmanlandırma çoğunlukla çok işlevlidir ve ayrı bir koordinasyon isterken CLT döşemede panelin tek parça davranışı iş sıralarını

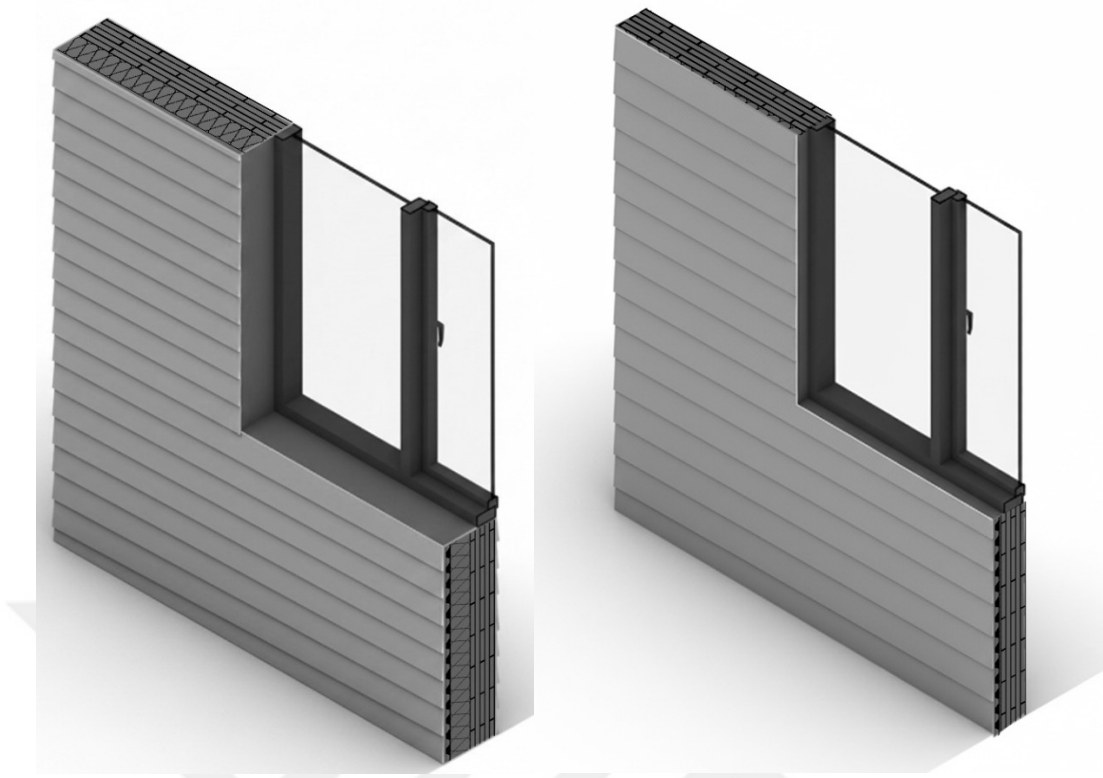
sadeleştirir; bakım erişimi ve müdahale stratejileri de buna uygun olarak yalınlaşır (Huber, 2018; Yürekli, 2023).

5.5.2 Cephe–Detay Sürekliliği

Kabuk kalınlığının cephe üzerindeki etkisi, açıklık derinliği ve gölge oyunları üzerinden okunmasını mümkün kılar. 24,0 cm’lik Karkas ya da CLT-1 kabuğunda pencere/kapı nişleri, söve ve denizliklerin yarattığı “gömülü doğrama” algısını destekleyecek bir derinlik üretir. Bu durum, tarihî dokuda yüzey sürekliliği ve katmanlı bir silüet arayan kurgu ile uyumludur (Pehlivan ve Sedes, 2019).

CLT-2’de ise 16,0 cm’lik incelmeye, nişin derinlik etkisini sığlaştırır; yüzey pürüzsüzleşir ve modüler bir anlatım öne çıkar. Eğer belgelilik ve özgünlük adına derin açıklık hissi korunmak isteniyorsa açıklık çevresinde çerçeveleme ve profillemeye ile ikincil bir derinlik üretmek gerekir. Bu noktada CLT kabukta panel–kaplama derz ızgarasının açıklık akslarıyla hizalanması kritik bir tasarım kısıtı olarak belirir. Hizalanmayan derz–açıklık ilişkileri yüzey bütünlüğünü zayıflatabilir ve modüler okunumu gereğinden fazla öne çıkarabilir. Kısacası, kalınlık sabitleyen CLT-1 yaklaşımı, cephe morfolojisini tarihî dilin beklentilerine geometrik olarak daha yakın tutarken; incelmeyi araçsallaştıran CLT-2 yaklaşımı, alan verimi ve düşey konfor bakımından üstün fakat açıklık derinliği ve gölgeleme için telafi gerektiren bir seçenek olarak konumlanır.

Bu ayırım, rekonstrüksiyon tasarımında karar mantığını berraklaştırır. Eğer amaç, tarihî cephe derinliğini ve katmanlılık duygusunu geometrik eşdeğerlik ile sürdürmek ise CLT içinde Opsiyon 1 öne çıkar. Burada yalıtım katmanı duvar kalınlığını sabitleyen bir araç olarak ek bir görev yapar ve karkas kabuğa yakın bir sonuç üretir (**Şekil 5.12**).



Şekil 5.12: Cephe derinliğini göstermek için CLT Opt1 (solda) ve CLT Opt2 (sağda) duvar kesiti.

5.5.3. U Değerleri Karşılaştırması

Tarihi yapıların yeniden inşasında görsel sadakati sağlamak kadar yapının modern konfor standartlarına ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşması da kritik bir gerekliliktir. Bu bağlamda, yapının dış kabuğu sadece estetik bir arayüz değil aynı zamanda iç ve dış ortam arasındaki enerji akışını kontrol eden bir bariyerdir. Bu bölüm, aynı dış kontur korunarak tasarlanan üç farklı duvar çözümünü (Geleneksel Karkas (26,0 cm), CLT Opsiyon 1 (24,0 cm) ve CLT Opsiyon 2 (16,0 cm)) yalnızca Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U-değeri) parametresi üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir.

Isıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri), bir yapı bileşeninin birim alanından, birim zamanda ve birim sıcaklık farkı altında geçen ısı miktarını ifade eder (W/m^2K). Seri davranan homojen katmanlar için her bir malzemenin ısıl direnci $R = d/\lambda$ (kalınlık bölü ısıl iletkenlik) formülü ile hesaplanırken, toplam ısıl geçirgenlik değeri $U = 1/Toplam R$ bağıntısıyla elde edilmektedir. Yapı fiziği açısından düşük bir U-değeri, kış aylarında ısı kaybını minimize ederken, yaz aylarında istenmeyen ısı kazançlarını sınırlandırır;

bu durum, iç yüzey sıcaklıklarının yoğuşma noktasının üzerinde kalmasını sağlayarak hem yapısal bütünlüğü korur hem de kullanıcı konforunu artırır (Altun, 2019).

Ahşap esaslı prefabrik paneller üzerine yapılan güncel araştırmalar, duvar kesitinin toplam kalınlığından ziyade kullanılan yalıtım malzemesinin konumu, niteliği ve kesintisizliğinin U-değeri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Akkan Çavdar ve Vural, 2024). Özellikle ahşap karkaslı sistemlerde, taşıyıcı elemanların oluşturduğu ısı köprüleri ve yalıtım dolgusunun sürekliliği nihai performansı doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Çalışma kapsamında ele alınan üç senaryo için TS 825 standardı ve ICE veritabanı referans alınarak katman bazlı ısı direnç hesaplamaları yapılmıştır. Aşağıdaki analizlerde, malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları (λ) ve kesit kalınlıkları (d) üzerinden elde edilen sonuçlar detaylandırılmıştır.

5.5.3.1. Senaryo 1: Geleneksel Karkas Sistem

Geleneksel Bağdadi tekniğinin modern bir yorumu olarak ele alınan bu senaryoda duvarın ısı performansı homojen olmayan bir yapı sergilemektedir. Isı akışı, teorik olarak iki farklı yol izler: Yalıtım malzemesinin (taş yünü) bulunduğu "Yalıtım Yolu" ve ahşap dikmelerin bulunduğu "Karkas Yolu".

Tablo 5.4: Karkas Sistem İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması (Paralel Isı Akışı).

Katman (İç > Dış)	Kalınlık d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W) - Yalıtım Yolu	R (m ² K/W) - Karkas Yolu
İç Yüzey Direnci (R _i)	-	-	0,130	0,130
İç Kaplama (Ahşap)	0,020	0,130	0,154	0,154
Buhar Bariyeri	0,0005	0,350	0,001	0,001
Çekirdek Katman	0,180	0,035 / 0,13	5,143 (Taş Yünü)	1,385 (Ahşap Dikme)
Su Yalıtımı	0,0005	0,190	0,003	0,003
Hava Boşluğu (Durgun)	0,020	-	0,180	0,180
Dış Kaplama	0,020	0,120	0,167	0,167
Dış Yüzey Direnci (R _e)	-	-	0,040	0,040
Toplam Direnç (Toplam R)			5,818	2,060

Ahşap, her ne kadar doğal bir yalıtkan olsa da ($\lambda \approx 0,13$ W/mK), mineral yün dolguya ($\lambda \approx 0,035$ W/mK) kıyasla daha iletken bir malzemedir. Bu durum, ahşap dikmelerin duvar kesiti boyunca "ısı köprüsü" (thermal bridge) olarak davranmasına neden olur.

Bu nedenle karkas sistemlerin U-değeri hesaplanırken bu iki yolun alan ağırlıklı ortalaması dikkate alınmalıdır (Pehlivan ve Sedes, 2019).

Alan-Ağırlıklı U-Değeri Hesabı: Karkas dikmelerinin yüzey alanının %15 ($f=0,15$) ve yalıtım alanının %85 ($f=0,85$) olduğu kabul edildiğinde nihai U-değeri yaklaşık 0,202 W/m²K olarak elde edilir (**Tablo 5.4**).

Hesaplamalar, karkas sistemin içerdiği 18 cm'lik yoğun yalıtım katmanı sayesinde ısı köprülerine rağmen oldukça rekabetçi bir performans sunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, literatürde çerçeve (frame) sistemlerin doğru yalıtım uygulamalarıyla operasyonel enerjide ciddi tasarruf sağladığı yönündeki verilerle örtüşmektedir (Akkan Çavdar ve Vural, 2024).

5.5.3.2. Senaryo 2: CLT Opsiyon 1

Bu senaryo, modern ahşap teknolojisi olan Çapraz Lamine Ahşap (CLT) panellerin taşıyıcılığı ile dıştan kesintisiz yalıtımın avantajlarını birleştirmektedir. Karkas sistemin aksine CLT paneli homojen bir yüzey oluşturur ve üzerine eklenen 8 cm'lik taş yünü katmanı, herhangi bir ahşap dikme ile kesintiye uğramaz.

Tablo 5.5: CLT Opsiyon 1 İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması.

Katman (İç > Dış)	Kalınlık d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
İç Yüzey Direnci (R _i)	-	-	0,130
Taşıyıcı CLT Panel	0,120	0,150	0,800
Isı Yalıtımı (Taş Yünü)	0,080	0,035	2,286
Su Yalıtımı	0,0005	0,190	0,003
Hava Boşluğu	0,020	-	0,180
Dış Kaplama	0,020	0,120	0,167
Dış Yüzey Direnci (R _e)	-	-	0,040
Toplam Direnç (Toplam R)			3,606
U Değeri (1/Toplam R)			0,277 W/m²K

Karkas sistem ile aynı toplam kalınlığa (24,0 cm) sahip olmasına rağmen, CLT-1 senaryosunda yalıtım kalınlığı (8 cm), karkas sistemdeki yalıtımdan 10 cm daha azdır. Ancak kesintisiz yalıtım hattı, ısı köprüsü risklerini minimize ederek "güvenli" ve standartlara uygun (TS 825 Bölge 2 limitleri dahilinde) bir performans sunar (**Tablo 5.5**).

5.5.3.3. Senaryo 3: CLT Opsiyon 2- Yalıtımsız İnce Kesit

Bu seçenek, CLT'nin strüktürel gücünden faydalanarak duvar kesitini minimuma indirmeyi (16 cm) hedefler. Geleneksel karkas sistemdeki 24,0 cm'lik derinlik yerine daha narin bir kabuk önerir. Ancak bu senaryoda harici bir ısı yalıtım katmanı bulunmamaktadır ve ısıl direnç tamamen 12 cm'lik masif ahşap panele emanettir.

Tablo 5.6: CLT Opsiyon 2 İçin Isıl Direnç ve U-Değeri Hesaplaması.

<i>Katman (İç > Dış)</i>	<i>Kalınlık d (m)</i>	<i>λ (W/mK)</i>	<i>R (m²K/W)</i>
<i>İç Yüzey Direnci (R_i)</i>	-	-	0,130
<i>Taşıyıcı CLT Panel</i>	0,120	0,150	0,800
<i>Su Yalıtımı</i>	0,0005	0,190	0,003
<i>Hava Boşluğu</i>	0,020	-	0,180
<i>Dış Kaplama</i>	0,020	0,120	0,167
<i>Dış Yüzey Direnci (R_e)</i>	-	-	0,040
<i>Toplam Direnç (Toplam R)</i>			1,320
<i>U Değeri (1/Toplam R)</i>			0,757 W/m²K

Akkan Çavdar ve Vural (2024) tarafından yapılan çalışmada, yalıtımsız masif ahşap panellerin (Scenario 1), operasyonel enerji verimliliği açısından en zayıf performansı sergilediği ve sadece %15,9 oranında enerji kazancı sağladığı belirtilmiştir (Akkan Çavdar ve Vural, 2024). Benzer şekilde, bu çalışmadaki CLT-2 senaryosu da 0,757 W/m²K gibi oldukça yüksek bir U-değeri ile sonuçlanmıştır. Bu değer modern enerji yönetmeliklerinin talep ettiği sınırların oldukça üzerindedir (**Tablo 5.6**).

Üç farklı kesit çözümünün U-değerleri bir arada incelendiğinde, "malzeme kalınlığı" ile "malzeme niteliği" arasındaki kritik ilişki ortaya çıkmaktadır:

- **Geleneksel Karkas (0,202 W/m²K):** En iyi ısıl performansı sunmaktadır. Kesitin büyük kısmının (%85) havayı hapseden mineral yünden oluşması ahşap dikmelerin yarattığı ısı köprülerini tolere edebilmektedir.
- **CLT Opsiyon 1 (0,277 W/m²K):** Karkas sisteme göre %37 oranında daha yüksek bir ısı geçişine izin verse de modern standartlar için kabul edilebilir, güvenli bir bölgededir. Sandviç panel mantığına yakın olan bu kurgu, özellikle montaj hızı ve hava sızdırmazlığı avantajlarıyla birlikte değerlendirilmelidir.
- **CLT Opsiyon 2 (0,757 W/m²K):** Yalıtımsız ince kabuk, mimari narinlik ve iç mekânda alan kazanımı (yaklaşık 12,5 cm) sağlasa da ısıl performans açısından dramatik bir kayıp yaratmaktadır. Karkas sisteme göre 3,7 kat, yalıtımlı CLT sistemine göre ise 2,7 kat daha fazla ısı kaybına neden olmaktadır.

Basit oranlar, farkın büyüklüğünü görselleştirmektedir. Akkan Çavdar ve Vural'ın (2024) belirttiği gibi, masif ahşabın tek başına modern bir yalıtım malzemesi olarak davranması zordur. Yalıtımsız masif paneller tek başlarına gerekli performans gereksinimini karşılayamazlar.

5.5.4. Şantiye Süreci

Aynı tarihî ahşap konağın iki ayrı rekonstrüksiyon yaklaşımı için şantiye sürecinde yaşananlar salt bir “süre karşılaştırması”ndan ibaret değildir. İşgücü yapısı, iş akışı, malzeme ve ekipman lojistiği, gürültü ve toz üretimi, atık profili, iş sağlığı–güvenliği (İSG), komşuluk ilişkileri, trafik ve teslimat yönetimi, geçici tesislerin alan işgali, hava koşullarına duyarlılık, kalite güvencesi ve tolerans yönetimi, hatta şantiye su–enerji tüketimi ve işçi düzeninin sürdürülebilir biçimde korunması gibi birbirine bağlı pek çok kalem—yaklaşım seçimine göre farklı bir ritim ve risk haritası üretir.

Hastürk firmasıyla yapılan görüşmeye göre, oturma alanı 282,28 m² olan iki katlı bir ahşap yapının, verilen kesitlere uygun geleneksel çerçeve tekniğiyle yaklaşık 75 günde tamamlanabileceği; işin başında 3 işçi + 2 ustayla başlanıp sonlara doğru taşıma ve bitirme işlerinin yoğunlaşması nedeniyle ekip büyüklüğünün 4 işçi + 4 ustaya çıkarılabileceği belirtilmiştir. CLT senaryosunda ise ATT firmasıyla yapılan görüşme sonucunda vinç desteği ve 6 usta ile, panel montajının 15–20 gün aralığında tamamlanabileceği öngörülmektedir. Bu iki sayı çifti, sürenin kısa–uzun oluşunu gösterdiği kadar, insan-zaman maruziyeti ve şantiye etkisinin “zaman boyunca yayılım biçimi” hakkında da önemli ipuçları verir. Kaba bir karşılaştırma için kişi–gün hesabı yapılırsa, geleneksel üretimde ekip büyüklüğünün 5’ten 8’e yükseldiği düşünüldüğünde ortalama 6–7 kişi bandında 75 gün; CLT’de ise çekirdek 6 kişilik bir ustalık ekibi ile vinç operatörlerinin eşlik ettiği daha yoğun ama kısa süreli bir montaj penceresi söz konusudur. Bu, salt “toplam süre” kadar “maruziyetin zamana yayılımı”yla da ilgilidir: geleneksel yaklaşımın şantiye izi zamana yayılıp komşuluğa uzun süre değmekte; CLT ise şiddeti yüksek, süresi kısa bir etki profili üretmektedir (Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

İşgücü ve işçilik örgütlenmesi bu farkın omurgasını oluşturur. Geleneksel çerçevede yerinde kesim, ayarlama ve iskele temelli uzun süreli bir “ıslak–kuru imalat” bileşimini gerektirir. Bu düzen, işin ayrıntısının şantiyede karara bağlandığı ve

ustalığın yerinde çözüm ürettiği bir yapım mantığıdır. Kalitenin önemli bir kısmı usta becerisine ve hava koşullarına bağlı kalır. CLT’de ise kararların büyük bölümü montaja gelmeden önce belirlenir. Panel boyutları, açıklıklar, birleşim hiyerarşisi ve derz yerleri, üretim lojistiğiyle birlikte tasarımın erken safhasında netleşir ve sahada hızlı ve düzenli montaj yapılır. Bu farklılık, işçi düzenini koruma açısından da belirgindir. Geleneksel üretimde iş devir planı, ıslak imalatların kür süreleri, sıva–zımpara–boya asenkronları ve iskele in–out döngüleri, ekibin temposunu sıklıkla değiştirir. İzin–molalar, vardiya süreleri, koruyucu ekipman kullanımı ve alan güvenliği gibi gündelik kalemlerin uzun süre disiplinle sürdürülmesi gerekir. CLT’de çekirdek ekip daha az sayıda olup vinç çevrimlerine bağlı yoğun bir tempoda çalışır. İşaretçi (banksman)–operatör–montaj ustası üçgeninde komuta kontrol netliği hem verim hem güvenlik için esastır (Çalışkan, 2016; Ay, 2020).

Lojistik ve ekipman penceresinden bakıldığında iki yaklaşımın malzeme akışı da farklıdır. Geleneksel senaryoda çok sayıda küçük ve orta ölçekli teslimat (kereste, çıta, sıva bileşenleri, yalıtım, kaplama, doğrama bileşenleri), yerinde kesim–uyarlama için geçici işlikler, uzun süreli iskeleler ve ara depolama ihtiyacı öne çıkar. Teslimatların mahalle trafiğiyle uyumu, toz–gürültü üretmeyen saatlerin seçimi ve geçici depolamanın güvenliği, işin sosyal kabulünü yakından etkiler. CLT’de daha az sayıda fakat büyük paletler hâlinde gelen panel sevkiyatı, vinç erişimi ve panel kaldırma rotalarıyla birlikte planlanır. Paket açma sırası ve kaldırma döngüsünün temposu doğrudan montaj verimine yansır. Prefabrik yapı yönetimi literatürü, bu tür sahalarda vinç çevrimlerinin verimlilikle güçlü biçimde ilişkili olduğunu ve “zamanında teslim (just-in-time)” planlamasının bekleme kayıplarını azalttığını vurgular (Akboğa, 2010; Gasparri and Mazzucchelli, 2016).

Gürültü ve toz meselesi, komşuluk ilişkilerinin en görünür yüzüdür. Geleneksel üretimde gürültü, daha düşük şiddette fakat daha uzun sürede yayılır: kesimler, zımparalar, harç–sıva karışımları, iskele hareketleri ve küçük teslimatlar, günlere ve haftalara bölünmüş bir maruziyet tablosu doğurur. CLT’de vinç, panel konumlandırma ve bağlantı sıkma anlarında ses piki yükselebilir; fakat toplam saha süresi kısa olduğundan maruziyet penceresi daralır. Toz açısından bakıldığında, geleneksel şantiyede ıslak imalatların karışım–uygulama süreçleri ve yüzey tesviyeleri—özellikle rüzgârlı günlerde—komşu parselleri ve yaya kullanımını etkiler. CLT’de kesimlerin fabrikada yapılması, saha kaynaklı kesim tozunu belirgin biçimde azaltır. Ancak

ambalaj ve kaplama montajından doğan lokal atık-toz yönetimi gerekir (Yıkıcı ve Ünal, 2022).

Kalite güvencesi ve tolerans yönetimi, iki yaklaşımın farklı güçlü yanlarını açığa çıkarır. Geleneksel çerçevede yüzey sürekliliği çoğunlukla usta eliyle ve sahada sağlanır. Bu detayın yerinde okunması ve yerinde çözülmesi anlamına gelir. CLT’de ise beklenen şey ön üretim doğruluğu ve montaj sırasında birleştirme parametrelerinin (vida torkları, plaka yerleşimleri, derz bantları, buhar-su bariyerlerinin sürekliliği) plana uygunluğudur. Prefabrik cephe ve BIM destekli koordinasyon hem süre hem operasyon kalitesi üzerinde kazanımlar sağlayabildiği için CLT ile uyumlu bir üretim kültürü oluşturur. Buna karşılık, erken safhada alınan kararların sahaya yansımaları disiplinli bir evrak-kontrol-teslim zinciri gerektirir (Tokgöz, 2007; Gasparri and Mazzucchelli, 2016; Ay, 2020).

Risk ve belirsizlik yönetimi açısından, geleneksel üretimin belirsizlikleri daha çok ustalık ritmine, hava koşullarına ve yerinde çözülmesi gereken detaylara bağlıdır; program, bu değişkenlere göre “esnetilerek” ilerler. CLT’de risk, tasarım-üretim zincirinin herhangi bir halkasında yaşanan gecikmenin—örneğin panel üretim slotu, sevkiyat izni ya da vinç planındaki bir aksamın—sahadaki çok sıkı pencerede çarpan etkisi oluşturmalarıdır. Bu nedenle CLT’de “erken koordinasyon-erken kilitleme-erken deneme” üçlüsü (BIM destekli detay doğrulaması, mock-up panel/derz provası ve zaman pencereli teslimat planı) başarının kritik koşuludur (Gasparri and Mazzucchelli, 2016; Ay, 2020). Gelenekselde ise deneme-yanılma sahada gerçekleşebilir; maliyeti, süre ve atık üzerinden hissedilir.

Bütün bu başlıklar, işçilik-işçi giderleri ve dolaylı şantiye maliyetlerine de işaret eder. Kişi-gün üzerinden düşünecek olursak, geleneksel yaklaşımda toplam işgünü yüksek olduğundan işçilik maliyeti, CLT’ye kıyasla daha büyük bir kalem olarak görünme eğilimindedir. Buna karşılık işçilik “yerel beceri ve tamir edilebilirlik” olarak geriye bir değer bırakır. CLT’de daha az kişi-gün ve daha kısa süre, işçilik giderlerini görece olarak düşürme potansiyeli taşır ancak vinç, özel bağlantı elemanları ve ön üretim-nakliye gibi kalemler bütçenin diğer tarafını büyütür. İşçinin düzenini koruma, uzun süren şantiyelerde dinlenme alanları, geçici ofisler, WC-duş, gölgeleme ve ısıtma-soğutma altyapısının sürekliliğini talep eder. CLT’de bu altyapı daha kısa dönem için kurulur, lojistik yoğunluk sebebiyle etkin planlama gerektirir.

Sonuç mahiyetinde, iki yaklaşımın şantiye profilleri şöyle okunabilir: geleneksel çerçeve/bağdâdî, yerinde üretim ve ustalık temelli uzun bir şantiye varlığını; CLT ise ön üretimle desteklenmiş, vinç ve montaj koordinasyonuna dayalı kısa fakat yoğun bir sahayı tarif eder. Birincisi daha esnek, yerinde karar veren; ikincisi daha önden belirlenmiş, disiplinli bir zaman penceresiyle çalışan bir kültür önerir. Gürültü ve tozda biri “düşük şiddet/uzun süre”, diğeri “yüksek şiddet/kısa süre” profili sergiler. Atıkta biri “çeşitli ve yaygın”, diğeri “ambalaj ve bağlantı odaklı” taşır. Kalite ve tolerans cephesinde, biri “usta gözü ve ıslak imalat koşullarıyla yönetilen yerinde kalite”, diğeri “ön üretim doğruluğu ve montaj kalite planı”na dayanır. Program, işgünü, komşuluk etkisi, atık ve İSG gibi ölçülebilir göstergeler üzerinden yapılacak bir değerlendirme, rekonstrüksiyon kararını daha rasyonel kılar. Belge değeri ve özgünlük önceliği ağır basıyorsa, geleneksel şantiye süresinin toplumsal ve çevresel yönetimi iyi planlanmalı; kullanım verimi, kısa program ve öngörülebilir montaj öncelikli ise CLT’nin lojistik–kalite–İSG üçlüsü eksiksiz örgütlenmelidir. Projedeki saha girdileri (geleneksel $\approx$ 75 gün; CLT $\approx$ 15–20 gün) literatürde prefabrik–ön üretimli sistemlerin zaman üstünlüğüyle uyumludur ancak bu üstünlüğün gerçek sahada sürdürülebilir olabilmesi, erken koordinasyon, net rol dağılımı ve sistematik kalite güvencesi programlarının varlığına bağlıdır (Gasparri and Mazzucchelli, 2016; Ay, 2020; Yürekli ve Yılmaz Karaman, 2023).

5.5.5. Mimari Özgünlük

Bu bölümde örnek köşkün yeniden inşasında düşünülen iki yaklaşımı—karkas çerçeve sistem ve CLT (çapraz lamine ahşap) panel sistemi—mimari özgünlük (authenticity) açısından bağlama duyarlı bir çerçevede değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın temel tutumu çağdaş malzemenin restorasyon ve rekonstrüksiyon süreçlerinde ilkesel olarak dışlanması değil, doğru koşullar ve açık tasarım beyanı altında geçerli bir alternatif olarak ele alınabilirliğini tartışmaktır. Dolayısıyla tartışma, iki sistemden birini üstün ilan etmeden özgünlüğün, kabul gören çok boyutlu yapısı (form-tasarım, malzeme-madde, teknik-geleneğin sürekliliği, işlev-kullanım, yer-bağlam ve anlatı) içinde hangi boyutlarda güçlenme, hangi boyutlarda uzaklaşma yaşandığını metodik biçimde irdelemeye odaklanmaktadır (Erkartal, 2016; Önge, 2020).

İnceleme, her iki sistemin de dış yüzeyinde aslına uygun ahşap kaplama bulunduğu kabulüyle yapılmaktadır. Yani, cephede görülen son katman—ahşap kaplama; hatta

çıta altlığı ve derz ritmi—görsel sürekliliği büyük ölçüde koruyabilecek biçimde tasarlanmıştır. Bu durum, biçim-tasarım boyutunda ilk bakışta güçlü bir benzeşme üretir: Renk, doku ve ölçek algısı, özellikle uzak ve orta mesafeden, tarihî kabuğa yakın görünür. Ancak özgünlük yalnızca görünüşe indirgenemeyeceği için, kabuğun gövdesindeki (duvarın kalınlığı, panel/karkas ızgarası, birleşim ve montaj mantığı) farklılaşmaların mimari okumaya nasıl yansıdığını katman katman tartışmak gerekir (Önge, 2020).

Karkas çerçeve sistem, taşıyıcı iskelet ile ara doldurucu katmanların birlikte çalıştığı bir yerel yapım sınıfıdır. Çerçeve arası yalıtım ve iki yüzölçü kaplama düzeni, ahşap-harç veya ahşap-levha ilişkilerinin “elde üretilmiş” izlerini taşır; kaplama ve çita ritminde usta işi küçük varyasyonlar, kireç esaslı sıva ya da ahşapın patinası, zamanla “yaş alan” bir kabuk dili üretir. Bu dil, malzeme-madde ve teknik-geleneğin sürekliliği açısından doğrudan bir özgünlük argümanıdır (Muşkara, 2017; Alemdağ ve Koçak, 2023). CLT panel sistemi ise farklı bir üretim mantığına dayanır: fabrikada kesilip işlenen geniş paneller, standart bağlantı elemanları ve modüler bir ızgara. Paneller, ölçüsel kararlılık ve hız sağlar; montaj ekonomisi ve büyük açıklıklar için elverişlidir (Tavşan vd., 2022). Bu olanaklar, koruma alanında kimi zaman geri döndürülebilirlik, yapım ve bakım güvenliği, nem ve şantiye risklerinin düşürülmesi gibi ölçütlerle olumlu ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla CLT, doğru bağlamda ve açık bir tasarım beyanıyla, uyumlu ama ayırt edilebilir bir katman üretme potansiyeline sahiptir (Erkartal, 2016; Önge, 2020).

Her iki sistemde de dışta aslına uygun ahşap kaplama bulunması, cephe dilinin ve sokak ölçeğindeki algının korunmasına yardımcı olur. Ancak bu benzer kabuk yüzeyinin altında iki belirgin fark vardır: duvar kalınlığı ve derz/ızgara mantığı. Karkas kesitin toplam gövde kalınlığı (örneklemimizde 24,0 cm) ve içte/dışta katmanlı dizilişi, pencere-duvar ilişkisini daha derin ve “gömülü” okutur; doğrama etrafındaki söve, denizlik ve niş derinlikleri, gölge oyununu zenginleştirir. CLT’de iki olasılık mevcuttur: Toplam kalınlığın 24,0 cm’de sabit tutulduğu ve dıştan ısı yalıtımıyla güçlendirilen kurgu (CLT-1) ile 16,0 cm’ye kadar incelen ve yalıtımsız panel mantığı (CLT-2). İlki, kalınlık sürekliliğini koruyarak açıklık derinliklerini yaklaştırır; ikincisi ise cepheyi daha düzlemsel ve planar bir algıya taşır. Bu durumda, CLT ile çalışırken doğrama çevresinde telafi katmanları (kademeli pervazlar, “gizli kasa” profilleri, yağmur-güneş kontrolü için söveye gömülen metal aksesuarlar) kullanarak, tarihî

kabuğun gölge ve derinlik karakteristiğini üretilebilecek yeni çözümler düşünülebilir (Alkan vd., 2023).

Özgünlüğün malzeme-madde ve teknik-geleneğin sürekliliği boyutlarında ise farklı bir tablo belirir. Karkas çerçevede, yerel marangozluk pratiği; çıta aralığı, kayıt-başlık, kuşaklama ve köşe birlemleri gibi öğelerle görünür olur. Derzler, düğümler ve küçük toleranslar, “ustalık izi” taşır. CLT’de ise zanaatkârlık, saha montajından çok fabrika üretiminde yoğunlaşır. Şantiyedeki işçilik çoğu zaman bağlantı-sızdırmazlık ve kaplama montajına indirgenir. Bu, “usta işi tekilik”ten “sanayileşmiş standarda” doğru bir kayma olarak yorumlanabilir. Bu durum, “katmanlı özgünlük” okumasındaki kaymayı gösterebilir. Malzeme-madde ve teknik-geleneğin puanı azalırken, işlev-kullanım ve güvenlik başlıklarında (sismik yeterlilik, yangın güvenliği, şantiye kontrolü) kazanımlar elde edilebilir (Saygıner ve Suri, 2024). Bu nedenle CLT ile rekonstrüksiyon öngörüldüğünde, tasarım beyanının “neyi, neden ve hangi telafi araçlarıyla” değiştirdiğini açıkça ortaya koyması, kararın meşruiyetini güçlendirir (Erkartal, 2016).

Köşkün iç mekân dünyasında da iki sistem farklı izler bırakır. Karkas + geleneksel döşeme kombinasyonu, tavan yüzeyinde kiriş ritmi ve kalınlık hissi üretir; bu his, tipolojinin belleğini taşır. CLT döşeme ise daha ince ve düz bir alt yüzey verir; temiz kat yüksekliği artar, ışığın mekâna yayılışı değişir. Bu değişim modern kullanım ihtiyaçları (tesisatın gizlenmesi, akustik kaplama için yekpare yüzey, hızlı montaj) açısından olumlu olabilir; fakat algısal olarak “pürüzsüz” bir modernite duygusu da yaratır (Tavşan vd., 2022).

Geleneksel sistemde 22,0 cm ile derinlik oluşturan ve belli bir mekân kaplayan duvarlar CLT ahşabın verdiği avantaj ile daha ince bir şekilde kurgulanabilir ve kullanıcıya kullanabilmesi için daha geniş alanlar yaratabilir. Fakat bu durum yapının özgünlüğü için negatif bir yorum olarak da okunabilir.

Özgünlük ile ayırt edilebilirlik arasındaki denge, iki sistemde de kritik önemdedir. Venedik Tüzüğü ve güncel uygulama literatürü, yeni ekin eskiyle uyumlu ama ayırt edilebilir olmasını önerir (Erkartal, 2016). Bu bağlamda her iki sistemde de dışta aslına uygun ahşap kaplama kullanılması ve aynı tavan kaplama detaylarının tekrarlanması uygun ölçek ve oranlarla uyum ilkesini karşılar. Ayırt edilebilirlik ise çoğu kez ayrıntıda çözülür ve söve-denizlik bağlantısında küçük bir gölge derzi, kaplama ile

yeni konstrüksiyon arasına yerleştirilen “okunur” bir arakesit ya da içte ulaşılabilir bir panoda proje beyanını ve yeni-eski sınırını açıklayan etikik ve belgeleme tasarım kararları doğrultusunda yapılabilir. Bu tür tasarım kararları özgünlük tartışmasını görünür kılar; “taklit” hissini azaltır ve etik bir yeniden inşa zemini kurar (Önge, 2020).

Karkas ile CLT’yi karşılaştırırken, özgünlüğün toplumsal bellek ve yer duygusu boyutuna da temas etmek gerekir. Karkas sistem, yerel ustalık ve tedarik zinciriyle topluluk içi bilgi akışını canlı tutar. Bu bir yapının yalnız maddi varlığı değil, üretim kültürü olarak da yaşaması demektir. CLT ise bölgesel üretim-tedarik ilişkileri kurar. Kimi zaman yerel atölye ve marangozluğun rolünü montaj ölçeğine de çekmektedir. Bu bir kayıptan ziyade bir dönüşümdür. Proje ekibi, bu dönüşümü eğitim, belgeleme ve şantiyede katılımcı uygulama ile dengeleyebilir. Örneğin dış kaplama, söveler ve saçak altı marangozlukları yerel ustalara bırakmak panellerin montajı sonrası yerel detay katmanını görünür kılar. Böylece CLT’nin sanayileşmiş standardı ile yerel zanaatkârlığın tekil imzası, aynı cephede birlikte var olabilir (Muşkara, 2017; Alemdağ ve Koçak, 2023).

Sonuç olarak iki çözüm de biçim-tasarım ölçeğinde yakın bir görünüş üretebilmektedir. Ayrışma daha çok gövde mantığı, derz-ızgara, montaj ve bakım rejimi, iç atmosfer ve zanaatkârlığın görünürlüğü katmanlarında belirginleşir. Karkas çerçeve, malzeme-madde ve teknik-geleneğin sürekliliği açısından daha doğrudan bir özgünlük anlatısı kurar. Buna karşılık CLT panel ise çağdaş gereksinimleri karşılayan esnek, hızlı ve güvenli bir yapı mantığı sunar. Çalışmanın ilkesi, iki seçeneğe de eşit mesafede durmaktır: CLT, bağlamsal ilkelerle ve açık telafi stratejileriyle kullanıldığında geçerli ve değerli bir alternatiftir; karkas ise özgünlük ekseninde güçlüdür. Nihai seçimi belirleyecek olan, hangi özgünlük boyutlarının korunacağı ve hangi çağdaş gereksinimlerin önceleneceği (sismik güvenlik, enerji-karbon, geri döndürülebilirlik, bakım-onarım) sorularına verilmiş şeffaf yanıtlardır (Erkartal, 2016; Önge, 2020; Akkan Çavdar ve Vural, 2024). Bu çerçevede hazırlanacak tasarım beyanı, ayırt edilebilirlik ve uyumluluk ilkelerini birlikte işler; doğrama çevresi ve saçak detaylarında derinlik telafisi, panel-kaplama arasında okunur arakesit, iç mekânda yerel marangozluk öğeleri, bakım-onarım için sökülebilir katmanlar ve tüm sürecin belgelenmesi gibi araçlarla, modern bir taşıyıcı mantık içinde tarihî anlatıyı saygıyla sürdürmek mümkün olur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez, İstanbul'daki seçilmiş bir tarihi ahşap konağın yeniden inşası üzerinden geleneksel ahşap karkas sistem ile çapraz lamine ahşap (CLT) tabanlı modern sistemlerin aynı mimari senaryo altında nasıl farklı sonuçlar ürettiğini ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışma “Tarihi bir ahşap konağın rekonstrüksiyonunda, geleneksel ahşap karkas sistem ile CLT tabanlı sistemler, maliyet ve mimari sonuçlar açısından nasıl bir tablo çizer?” sorusuna cevap ararken üç temel senaryo tanımlamış; birinci senaryoda geleneksel ahşap karkas, ikinci senaryoda 24,0 cm kalınlığında özgün kalınlığı koruyan duvar CLT dış duvarı (CLT Opt-1), üçüncü senaryoda ise 16,5 cm kalınlığında yalıtımsız, ince kesitli CLT dış duvarı (CLT Opt-2) temel alınmıştır. Her üç sistemde de bina geometrisi, plan şeması, çatı formu, kat adedi ve cephe oranları sabit tutulmuş; yalnızca duvar ve döşeme düzeyindeki taşıyıcı ve katmanlaşma mantığı değiştirilmiştir. Böylece, malzeme ve sistem tercihinin tek başına maliyet, performans ve mimari karakter üzerinde nasıl farklar ürettiği diğer tüm değişkenler kontrol altına alınarak okunabilir hâle getirilmiştir.

Elde edilen bulgular, üç senaryo arasında tek boyutlu olmayan bir ayrışmaya işaret etmektedir. Geleneksel ahşap karkas sistem, ilk yapım maliyeti açısından en düşük değeri veren koruma kuramı bakımından özgün malzeme ve teknik sürekliliği en yüksek düzeyde taşıyan ancak şantiye süresi en uzun ve usta emeği en yoğun çözüm olarak öne çıkmıştır. Yalıtımlı CLT dış duvarı içeren CLT Opt-1 senaryosu, ilk yatırım maliyeti bakımından bariz biçimde daha yüksek bir seviyeye yerleşmiş fakat buna karşılık iyi bir ısı yalıtımı ve duvar kalınlığını koruyarak cephe oranlarını bozmayan bir kabuk kurgusu sunmuştur. Yalıtımsız, ince kesitli CLT Opt-2 ise, Opt-1'e göre daha düşük ama geleneksel sisteme göre hâlâ yüksek bir maliyet düzeyine sahip olmuş; net kullanım alanını artırmış fakat ısı geçirgenlik değeri ve kabuk kalınlığı açısından belirgin bir zafiyet sergileyerek mimari özgünlükten çok “tarihsel referanslı yeni yapı” karakterine yaklaşmıştır. Dolayısıyla çalışma, “en iyi sistem”i değil, hangi öncelik setinde hangi sistemin öne çıktığını gösteren çoğul bir tablo sunmaktadır.

Maliyet boyutu bu tablonun en kritik katmanlarından birini oluşturmuştur. Çalışmanın yaklaşık 816 m² kapalı alan üzerinden hesaplanan duvar ve döşeme maliyetleri, birim alan başına geleneksel sistemin CLT senaryolarına göre anlamlı biçimde daha düşük kaldığını göstermiştir. CLT Opt-2 senaryosunda yalıtım tabakasının devreden çıkması,

bu farkı bir miktar azaltmakta ancak toplam pozlar bir arada okunduğunda, geleneksel sistem hâlâ en ekonomik seçenek olarak kalmaktadır. CLT panellerin ithal olması, panel + montaj + özel bağlantı elemanlarını içeren m³ birim fiyatlarının avro üzerinden tanımlanması, vinç ve özel montaj lojistiği gibi kalemler bu farkın başlıca kaynaklarıdır. Buna karşılık geleneksel sistemde ahşap malzemenin birim fiyatı görece düşük ancak işçilik-saat ihtiyacı yüksek ve usta bulunabilirliği, şantiye süresinin uzaması ve buna bağlı şantiye giderleri, maliyet hesabına farklı türde bir kırılگانlık eklemektedir.

Çalışmanın dikkat çektiği önemli bir nokta da bu maliyet bulgularının zamana ve bağlama duyarlı olmasıdır. CLT'nin Türkiye'de yerli üretiminin artması, nakliye mesafelerinin kısılması, standardize bağlantı sistemlerinin yerel pazarda yaygınlaşması ve kur dalgalanmalarının görece dengelenmesi hâlinde, bugün gözlenen farkların orta vadede kısmen kapanması mümkündür. Bu nedenle tez, elde edilen sonuçların “2025 yılı poz listeleri ve piyasa koşulları”nın bir kesiti olarak okunması gerektiğini vurgulamaktadır. Aynı zamanda, uluslararası literatürde CLT yapılar için sıkça dile getirilen “yüksek başlangıç maliyeti – kısa şantiye süresi – düşük gömülü karbon” üçlüsünün, Türkiye koşullarına uyarlanmış somut bir örneğini ortaya koymaktadır.

Mimari ve performans açısından bakıldığında, üç senaryo arasında daha katmanlı farklar ortaya çıkmıştır. Geleneksel karkas sistemde dış duvarın yaklaşık 24,0 cm kalan kalınlığı, CLT Opt-1 senaryosunda büyük ölçüde korunmuş; 12 cm CLT panel, dıştan yalıtım ve kaplamalarla birlikte benzer bir kabuk kalınlığı üretmiştir. Bu durum, pencere derinlikleri, gölge oyunları ve yalı baskı kaplamanın cepheye oturuşu açısından tarihî konak imgesini destekleyen bir süreklilik yaratmaktadır. Buna karşılık CLT Opt-2 senaryosunda duvar kalınlığı 16,5 cm seviyesine inmiş ve bu inceleme, özellikle dış köşe dönen cephelerde ve pencere çevrelerinde gölge derinliklerini azaltarak algıyı daha modern ve daha soyut bir kabuk diline doğru kaydırmıştır. Net kullanım alanı açısından bakıldığında Opt-2, kabuğun içeriye daha az girmesi sayesinde geleneksel ve Opt-1'e göre belirgin bir m² kazanımı sağlamaktadır. Ancak bu kazanç hem ısı performans hem de cephe-detay sürekliliği bakımından bazı tavizlerle birlikte gelmektedir.

Isı geçirgenlik katsayısı (U değeri) bu tavizlerden belki de en önemlisidir. Çalışmada yapılan hesaplamalar, taş yünü dolgulu geleneksel karkas duvarın yaklaşık 0,19 W/m²K düzeyinde, 10 cm ısı yalıtımı içeren CLT Opt-1 duvarının ise 0,24 W/m²K civarında bir U değeri verdiğini ortaya koymuştur. Bu iki sistem, TS 825 kapsamında öngörülen sınırlar içinde, farklı kalınlık ve bileşimlerle de olsa karşılaştırılabilir bir ısı performans sağlamaktadır. Buna karşılık yalıtımsız CLT Opt-2 senaryosunda dış duvarın U değeri yaklaşık 0,72 W/m²K seviyesine yükselmekte bu da özellikle enerji verimliliği hedefleriyle uyuşmayan bir sonuç doğurmaktadır.

Mimari özgünlük ve cephe-detay sürekliliği açısından okunduğunda, geleneksel sistemin konak tipolojisinin tarihsel kimliğine en yakın çözüm olduğu açıktır. Karkasın ritmi, dolgu-taşıyıcı ilişkisi ve yalı baskı kaplamanın bu iskelete oturmuş biçimi hem iç mekânda hem de dış kabukta yapım tekniğinin okunabilirliğini sağlar. Bu durum, ahşap miras yapılarında sıkça vurgulanan “zanaatkârlığın görünürlüğü” ilkesini desteklemektedir (Yücel, 2018). CLT Opt-1 senaryosu, taşıyıcı mantık olarak bu şemadan uzaklaşsa da kat adedi, çatı formu, pencere oranları, duvar kalınlığı ve yalı baskı kaplamanın konumlanması gibi unsurları koruyarak, biçimsel özgünlük ile çağdaş taşıyıcı sistem arasında bir ara pozisyon üretmektedir. Yalıtımlı kabuk sayesinde cephedeki gölge derinlikleri büyük ölçüde korunmakta bu da tarihî konak imgesinin kamusal algı düzeyinde sürdürülebilmesine imkân tanımaktadır. CLT Opt-2 senaryosunda ise incelen kesit ve yalın kabuk sebebiyle, yapının görünüşü daha çağdaş bir çizgiye yaklaşmakta bu da koruma kuramı açısından “rekonstrüksiyon”dan ziyade “tarihsel referanslı yeni yapı” kategorisini çağrıştırmaktadır.

Şantiye süreci ve yapım organizasyonu açısından elde edilen bulgular, maliyet ve mimari değerlendirmeleri tamamlayan bir başka önemli katmanı oluşturmaktadır. Geleneksel sistemle üretim için istenilen süre; karmaşık cephe ve detayların, yerinde üretim ve montaj mantığının, deneme-yanılma ve ustalık becerisiyle şekillenen bir inşa kültürünü beraberinde getirmektedir. CLT senaryolarında ise panellerin fabrikada üretilip şantiyeye hazır olarak gelmesi sayesinde taşıyıcı sistemin montaj süresi 15–20 gün gibi oldukça kısa bir aralığa inmektedir. Bu durum, özellikle sıkışık kent dokusunda ve tarihî çevrede, gürültü, toz, trafik ve komşuluk ilişkileri üzerindeki olumsuz etkilerin toplam süresini ciddi biçimde azaltma potansiyeli taşımaktadır.

Bu bütüncül çerçeve içerisinde çalışma, CLT kullanımının rekonstrüksiyonda hangi özgünlük boyutlarının önceliklendirildiğine ve hangi telafi araçlarının devreye alındığına bağlı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Eğer karar verici için öncelik tarihî yapının malzeme ve zanaatkârlık boyutunun sürdürülmesi, yerel ustalık bilgisinin canlı kalması ve müdahalelerin mümkün olduğunca geri döndürülebilir olması ise bu tezin sonuçları geleneksel karkas sistemin baskın bir üstünlüğüne işaret etmektedir. Buna karşılık, projenin sürdürülebilirlik hedefleri içinde gömülü karbonun azaltılması, şantiye süresinin kısaltılması, seri üretim kapasitesinin artırılması ve yapı kabuğunun çağdaş bir ahşap örnek olarak okunması gibi hedefler baskın hâle geldiğinde CLT tabanlı sistemler özellikle Opt-1 senaryosu üzerinden ciddi bir alternatif oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, tarihi ahşap yapıların rekonstrüksiyonunda geleneksel ve modern ahşap sistemleri birbirinin mutlak karşıtı olarak değil farklı öncelik kümelerine cevap veren iki ayrı araç olarak konumlandırmaktadır. Üç senaryolu kurgusu sayesinde tez, mimar, yatırımcı ve kamu idaresine; maliyet, mimari özgünlük, enerji performansı, şantiye organizasyonu ve koruma ilkeleri arasında bilinçli bir denge kurmaya imkân tanıyan; sayısal ve nitel verilerle desteklenmiş bir karar çerçevesi sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye’de ahşap mimarlık mirasının güncel yeniden inşa pratiklerine aktarımı ve CLT gibi yeni nesil ahşap ürünlerin tarihî dokuda nasıl, ne ölçüde ve hangi gerekçelerle yer bulabileceğine ilişkin tartışmalara somut bir katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Akboğa, Ö. (2010). İnşaat sektöründe malzeme tedarik zinciri zamanında teslimin önemi. Pamukkale Ünirsitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.

Akkan Çavdar, A., ve Vural, N. (2024). Analysis of the embodied and operational energy of wood-based prefabricated panels produced with different design concepts according to macular Baghdadi wall. Journal of Polytechnic, 27(4), 1491–1503. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1239942>

Aksel, H. (2020). Yapım sürecinde atık yönetimi: Süreç malzeme odaklı yaklaşımlar. İnönü Ünirsitesi Sanat Tasarım Dergisi.

Aktaş, Y. D. (2017). Seismic resistance of traditional timber-frame hımiş structures in Turkey: A brief orview. International Wood Products Journal, 8(sup1), 21–28. <https://doi.org/10.1080/20426445.2016.1273683>

Aktaş, Y. D., Akyüz, U., Tüer, A., Erdil, B., ve Şahin Güçhan, N. (2014). Seismic resistance of traditional timber-frame hımiş structures in Turkey: A brief orview. [Conference paper].

Akşar, S. (2024). Geleneksel çağdaş ahşap yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesinin karşılaştırmalı analizi (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Ünirsitesi, Mimarlık Fakültesi).

Alemdağ, E. L. (2023). Geleneksel konutların duvar tipleri bağdâdi uygulamaları. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi.

Altun, M. (2019). Bina kabuklarında enerji rimliliği senaryoları: Örnek konut uygulaması üzerinden değerlendirme. Pamukkale Ünirsitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(3), 292–301.

Altun, M. C. (2019). Binalarda ısı yalıtımı enerji rimliliği. İstanbul Teknik Ünirsitesi Yayınları.

Ay, İ. (2020). Prefabrike yapıların tasarım–üretim–nakliye–montaj aşamalarında kalite kontrol riskler. Düzce Ünirsitesi Bilim Teknoloji Dergisi.

Balcı, E., Kuban, N., ve Çiftçi, A. (2022). Türkiye’de mimari mirasın korunmasında çalışan geleneksel yapı ustalarının önemi uygulama elemanlarının eğitimleri üzerine güncel bir değerlendirme. TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi, (25), 81–96.

Başkan, S. (2008). Geleneksel Doğu Karadeniz evleri. Erdem Dergisi, (52), 41–90.

Bertolini Cestari, C., Innizzi, S., Marzi, T., ve Spanò, A. (2016). Numerical sury, analysis and assessment of past interntions on historical timber structures: The roof of Valentino Castle. Wiadomości Konserwatorskie, 46, 87–97.

Bozkurt, A. Y. (1992). Odun anatomisi (İstanbul Ünirsitesi Orman Fakültesi Yayın No: 3652/415). Safya.

Breneman, S. E., McDonnell, E., ve Zimmerman, R. B. (2016). An approach to CLT diaphragm modeling for seismic design with application to a U.S. high-rise project. In World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), Vienna, Austria.

Caneparo, L. (2014). Digital woodworking. In Digital fabrication in architecture, engineering and construction (pp. 217–238).

Coşkun, B. (2022). Endüstriyel ahşap malzemenin yapıda kullanımı. KAPU Trakya Journal of Architecture and Design, 2(1), 20–34.

Coşkun, H. (2008). Türk inşaat sektöründe katı atık yönetimi paydaş algısı. Dokuz Eylül Ünirsitesi Mühendislik Fakültesi Fen Mühendislik Dergisi.

Çalışkan, Ö. (2016). Regulation-based occupational health and safety in construction. Niğde Ünirsitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.

Çalışkan, Ö., Meriç, E., ve Yüncüler, M. (2019). Ahşap ahşap yapıların dünü, bugünü yarını / Past, present and future of timber and timber structures. BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi / BSEU Journal of Science, 6(1), 109–118. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.531012>

Çerçevik, A. E. (2019). Şehir içinde temel çalışması yapılan bir şantiyenin gürültü kirliliği üzerine inceleme. Uludağ Ünirsitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.

D’Arenzo, G., Rinaldin, G., Fossetti, M., Fragiaco, M., Nebiolo, F., ve Chiodega, M. (2018). Tensile and shear behaviour of an innovati angle bracket for CLT

structures. In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018).

Demir, A., Birinci, A. U., ve Öztürk, H. (2021). Yerli ağaç türlerinden üretilen kontrplak kaplı perde duvarların yanıl yük altındaki performansı. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23(2), 528–535.

Demirrenk, E. İ., ve Erarslan, A. (2018). Geleneksel Rize İkizdere evlerinin plan tipolojisi yapıml sistemlerinin incelenmesi. ABMYO Dergisi, (50), 47–66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/651186>

Dietsch, P., Kuhlmann, U., Frangi, A., ve Jockwer, R. (2018). Design of connections in timber structures. COST Action FP1402.

Doğan, M. (2010). Seismic analysis of traditional buildings: Bagdadi and Himis. Anadolu University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering, 11(1), 35–45.

Dolu, Y. B. (2015). Kocaeli çevresinde çandı (ahşap yığma) teknikle yapılmış camiler (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Kültür Sosyal İşler Dairesi Başkanlığı Yayınları No. 30). Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

Dönmez, İ. E., ve Dönmez, Ş. (2013). Ağaç kabuğunun yapısı yararlanma imkânları. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi / SDU Faculty of Forestry Journal, 14, 156–162.

Elmas, H., ve Altın, Ş. N. (2024). Sepet örgü yapıml tekniğı özgün bir örnek olarak Huğ evleri üzerine bir değerlendirme. Kültür Araştırmaları Dergisi, 23, 390–410. <https://doi.org/10.46250/kulturder.1545984>

Erdoğan, Ö. E. (2019). İstanbul'un ateşle imtihanı. Beykoz Akademi Dergisi, 2(2), 47–68.

Ergün, A. (2010). Geleneksel Balıkesir Dursunbey Evleri'nde yapıml teknikleri malzemeler. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2), 1–11.

Eriş, C. (2014). Küçüksu Mihrişah Vâlide Sultan Mescidi rekonstrüksiyonu. Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 12, 26–34.

Ersen, A. (2014). Türkiye'de tarihi çevre koruma(ma) tarihi rekonstrüksiyon üzerine düşünceler. Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 12, 3–25.

Furtuna, Ç., ve Ulusoy Binan, D. (2018). Samsun-Çarşamba'da çantı tekniğinde inşa edilmiş ahşap camiler: Yapım sistemi köşe geçmeleri üzerine bir değerlendirme. *Megaron*, 13(1), 78–90. <https://doi.org/10.5505/megaron.2018.18449>

Gasparri, E., ve Mazzucchelli, E. S. (2016, October). Façade prefabrication in tall CLT buildings: Time, cost and operation quality analysis through Building Information Modelling. Paper presented at the 11th Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland.

Gómez-Royuela, J. L., Majano-Majano, A., Lara-Bocanegra, A. J., Xavier, J., ve de Moura, M. F. S. F. (2022). Evaluation of R-curs and cohesi law in mode I of European beech. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 118, 103220. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103220>

Görgün, H. V., ve Ünsal, Ö. (2023). Yapısal ahşap–rutubet ilişkisi. *bāb Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 4(1), 53–63.

Gül, N., ve Güzelçoban Mayuk, S. (2019). Çağdaş ahşap yapım sistemlerinin çok katlı yapılarda kullanımının incelenmesi: The Tree. *Kent Akademisi*, 12(37), 586–599.

Güller, B. (2004). Odun kompozitleri. *KSU Fen Mühendislik Dergisi*.

Güler, M. (2025). Kırsal mimari araştırmaları: Boğazlıyan/Yozgat. *Urban 21 Journal*, 3(1), 51–60.

Hassan, O. A. B., ve Johansson, C. (2018). Glued laminated timber and steel beams: A comparati study of structural design, economic and environmental consequences. *Journal of Engineering Design and Technology*, 16(3).

Hiziroglu, S. (2016). Strength properties of wood for practical applications (FAPC-162). Oklahoma State Unirsity, Robert M. Kerr Food ve Agricultural Products Center. <https://www.fapc.biz/publications/fapc-162>

İlkan, S. N. (2023). Hygrothermal performance analysis of traditional timber frame external wall fillings.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama Denetim Müdürlüğü [KUDEB]. (2009). KUDEB Ahşap Eğitim Atölyesi: Geleneksel ahşap yapı uygulamaları (1. baskı). İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

- İstek, A. (2018). Ahşap esaslı levha sektöründe kullanılan yanma geciktiriciler. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 18(Özel Sayı), 389–397.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ., Çelik, S., ve Gönül, Ş. (2023). Ahşap esaslı levha sektöründe kullanılan yanma geciktiriciler. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi / Journal of Advanced Technology Sciences, X(X), 389.
- Karacabeyli, E., ve Gagnon, S. (Eds.). (2019). CLT handbook: Cross-laminated timber (Canadian edition). FPInnovations.
- Karahan, A. (2019). Ethem Paşa Konağı rekonstrüksiyon projesi irdelenmesi. Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 22, 28–65.
- Kayakıran, S., ve Kışhalı, E. (2019). Dünden bugüne tutkalı tabakalı ahşap yapı elemanları taşıyıcı olarak kullanımı. Mimarlık Bilimleri Uygulamaları Dergisi, 4(1), 34–50.
- Kermani, A., ve Hairstans, R. (2006). Racking performance of structural insulated panels. Journal of Structural Engineering, 132(11), 1806–1811.
- Kılınçarslan, Ş., ve Şimşek Türker, Y. (2020). Ahşap malzemelerin FRP ile güçlendirilmesinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. Teknik Bilimleri Dergisi, 10(1), 23–30.
- Kinch, P. (2017, October 25). Structural insulated panels (SIPS). Great Space Architects. <https://www.greatspacearchitects.com/2017/10/25/structural-insulated-panels-sips>
- Kurnaz, A. D. (2024). Tarihi çevrede sıra dışı çağdaş ekler: Kavramsal tasarımsal bir değerlendirme. KAPU Trakya Journal of Architecture and Design, 4(2), 83–105.
- Kutlu, İ., ve Bekar, İ. (2021). Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilme sürecinde cam kullanımı: Trabzon Kızlar Manastırı örneği. Karadeniz Araştırmaları Enstitüsü Dergisi, 7(13), 199–231.
- Lakot Alemdağ, E., Şahin, B., ve Akkan Çavdar, A. (2023). Geleneksel konutların restorasyon sürecinde enerji etkin iyileştirilmesi: Trabzon evi örneği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 13(1), 202–222.

- Lattke, F., ve Lehmann, S. (2007). Multi-storey residential timber construction: Current developments in Europe. *Journal of Green Building*, 2(1), 119–129.
- Legg, M., ve Bradley, S. (2016). Measurement of stiffness of standing trees and felled logs using acoustics: A review. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(2), 588–604. <https://doi.org/10.1121/1.4940210>
- Livingstone, A. (2018). Timber connections: Design theory to Eurocode 5.
- Malo, K. A. (2016). Timber bridges. In *Innovative bridge design handbook: Construction, rehabilitation and maintenance* (pp. 273–297). Elsevier.
- Mirra, M., Gerardini, A., Ranshorst, G., ve van de Kuilen, J.-W. (2023). Application of timber-based techniques for seismic retrofit and architectural restoration of a wooden roof in a stone masonry church. *Procedia Structural Integrity*, 44, 1856–1863.
- Mullens, M. A., ve Arif, M. (2006). Structural insulated panels: Impact on the residential construction process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 786–794.
- Muşkara, Ü. (2017). Kırsal ölçekte geleneksel konut mimarisinin korunması, SEFAD, 437-448
- Ökten, M. S. (2021). Yığma yapılarda günümüzde yapılan hatıl uygulamaları. *Avrupa Bilim Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı)*, 261–271.
- Önge, M. (2020). A proposal for a principal based approach to conservation project preparation process of architectural heritage. *GRID Mimarlık, Planlama Tasarım Dergisi*, 3(1), 28–50.
- Özcan, U., ve Güngör, S. (2019). Geleneksel Türk evi ile geleneksel Japon evi'nin yapısal açıdan karşılaştırılması. *Avrupa Bilim Teknoloji Dergisi*, (16), 646–661.
- Öztürk, H., Birinci, A. U., ve Demirkır, C. (2023). Yapısal ahşap ürünlerinin ısı yalıtım özellikleri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi / Journal of Advanced Technology Sciences*, 522.
- Panjehpour, M., Eric, W. K. L., ve Deepak, T. J. (2018). Structural insulated panels: State-of-the-art. *Tr Civil Eng ve Arch*, 3(1), Article 000151.

- Parlak Biçer, Z. Ö., ve Karaaslan, N. S. (2022). Bina maliyetlerinde malzeme etkisinin Han Tümertekin Alberto Campo Baeza yapılarında incelenmesi. *Mimarlık Yaşam Dergisi*, 7(2), 719–750.
- Parlak Biçer, Z. Ö., ve Şahin, N. (2020). Geleneksel ahşap yapım sistemlerinin uygulamalar üzerinden incelenmesi. *Journal of Architecture and Life*, 5(2), 577–602.
- Pehlivan, A., ve Sedes, F. (2019). Safranbolu evi dış duvar çeşitlerinin ısı geçirgenlik katsayılarının analizi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 14(55), 181–194.
- Pehlivan, A., ve Sedes, N. (2019). Tarihi yapılarda enerji rimliliği ısı yalıtımı uygulamaları. *Megaron*, 14(1), 123–134.
- Perker, Z. S., ve Akıncıtürk, N. (2011). Geleneksel Cumalıkızık evlerinde ahşap konut sistemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16.
- Ringhofer, A., Brandner, R., ve Blaß, H. J. (2018). Cross laminated timber (CLT): Design approaches for dowel-type fasteners and connections. *Engineering Structures*, 171, 849–861.
- Şahin, S. E., Günaydın, H. M., ve Öztürk, G. B. (2022). Kamu restorasyon projelerinde süre maliyet yönetimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 7(1), 107–123.
- Şişman, M. E., ve Balaban Ökten, B. (2023). Yapı sektöründe ahşap teşvik politikaları etkileri. *Mimarlık Tasarım Dergisi / Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 4(Özel Sayı), 48–64.
- Saygıner, F. Y. (2024). NARA–GRID esasına dayalı özgünlük değerlendirmeleri. *İTÜ Journal of the Faculty of Architecture*, 21(1), 55–74.
- Stark, N., Cai, Z., ve Carll, C. G. (2010). Wood-based composite materials—Panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber... In *Wood handbook: Wood as an engineering material*.
- Tavşan, C., Şahiner Tufan, A., ve Tavşan, F. (2022). Ekolojik malzeme olan ahşapla yapılan çok katlı yapılar. *Mimarlık Yaşam Dergisi*, 7(1), 291–309.

Tellioğlu, S., ve Satıcı, B. (2023). Tarihi yapılarda restorasyon tekniklerine göre uygulanacak malzemelerin belirlenmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji Uygulamalı Bilimler Dergisi, 6(1), 37–49.

Tokgöz, H. (2007). Endüstrileşmiş bina tasarımında modüler koordinasyonun önemi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.

Tonyalı, Z., Lakot Alemdağ, E., ve Tandoğan Kibar, G. (2024). 06.02.2023 Kahramanmaraş depremleri altında CLT çok katlı konut binasının sismik tepkisi. Mimarlık Bilimleri Uygulamaları Dergisi, 9(Özel Sayı), 41–63.

Toprak, G. K. (2017). Adaptive reuse projelerinde malzeme korunumu. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 567–580.

Uras, R. B. (2023). Topkapı Sarayı Fatih Köşkü Gülhane Parkı arasında kalan set duvarlarının zeminin güçlendirilmesi işi kapsamında yapılan mühendislik çalışmaları. Millî Saraylar Sanat Tarih Mimarlık Dergisi, 25, 65–75.

Uygunoğlu, T., Yıldırım, Ö., Aslan, F., ve Yağcı, B. (2015). Dış cephe mantolama bileşenlerinin yüzey aderans özellikleri uygulama performansı. Teknolojik Araştırmalar – Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 18–26.

Waugh Thistleton Architects. (2025). Dalston Works. <https://waughthistleton.com/dalston-works/>

Web 1: (<https://www.arkitera.com/haber/lamine-ahsap-rehberi-03-nlt-civilenmis-lamine-ahsap/>), (Erişim Tarihi: 14/06/2025).

Web 2: <https://waughthistleton.com/dalston-works/>, (Erişim Tarihi: 20/06/2025).

Yağcı, S. F., ve Mazlum, D. (2016). Traditional timber houses of Istanbul: Heritage values and preservation problems. Journal of Architectural Conservation, 21(3).

Yıkıcı, A., ve Ünal, H. (2022). Türkiye’de hava kalitesinin değerlendirilmesi PM fraksiyonlarının inşaat-yol faaliyetlerine duyarlılığı. Turkish Studies—Earth Sciences.

Yücesoy, D., İlhan, O., Birinci, A. U., ve Demirkır, C. (2024). Perde duvarların yanal yük dayanımı üzerine kaplama elemanı yalıtım malzemesinin etkisinin araştırılması. Turkish Journal of Forestry, 25(1), 64–70.

Yüksek, D., ve Çamlıbel, O. (2025). Endüstriyel ahşap malzemelerin iç mekan kullanımı üzerine bir araştırma / A study on the use of industrial wood materials in interior spaces. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 34(1), 764–780. <https://doi.org/10.35379/cusosbil.1522486>

Yürekli, D., ve Yılmaz Karaman, Ö. (2023). CLT panel ile inşa edilen çok katlı konutların yapım çevresel koşullar bağlamında analizi. ESOGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(3), 760–774.



ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Emin Şıkşak, 2017 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümünden 2022 yılında mezun oldu. 2023 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalındaki yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Şıkşak, M. E., ve Kara, F. İ. (2025). Tarihi ahşap konak rekonstrüksiyonunda iki yaklaşım: Geleneksel karkas ve CLT sistemlerinin karşılaştırılması. Z. Çizmecioğlu ve T. Muneer (Ed.), 11. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi Bildiri Kitabı (ss. 214-219). Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları.

