



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI**

**GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN
ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI ELEMANLARI VE
YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞULE NUR CAŞTUR

İSTANBUL, 2021



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI**

**GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN
ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI ELEMANLARI VE
YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞULE NUR CAŞTUR
(180201009)**

**Danışman
(Dr.Öğr.Üyesi Uğur ÖZCAN)**

İSTANBUL, 2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı'nda 180201009 numaralı Şule Nur CAŞTUR'un hazırladığı "Günümüz Mimarisinde Kullanılan Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları ve Yapı Örneklerinin İncelenmesi " konulu Mimarlık Tezli Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 16/07/2021 Cuma günü saat 16 :30 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:.... da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının
.....
..... şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖZCAN	16/ 07/2021	KABUL
Dr. Öğr. Üyesi Emine Merve OKUMUŞ	16/ 07/2021	KABUL
Dr. Öğr. Üyesi Jülide ERDİNÇ	16/ 07/2021	KABUL

BEYAN/ ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağılı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

ŞULE NUR CAŞTUR

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren ve çalıőmamın her aşamasında desteğini sunan tez danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Uğur Özcan'a ve sadece çalışmanın değil hayatın her aşamasında bana destek olan sevgili aileme her őey için sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

ŞULE NUR CAŞTUR

GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI ELEMANLARI VE YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Şule Nur CAŞTUR

ÖZET

Ahşap, eski çağlardan itibaren insanların en temel gereksinimleri için kullandığı yapı malzemelerinden biri olmuştur. Ahşap malzeme, zaman içerisinde teknolojik gelişmelerle birlikte malzemenin yapısal sorunlarına çözümler üretilerek günümüz yapı alanında önemli ve geniş kullanım olanağına sahip bir yapı malzemesi haline gelmiştir.

Kolay temin edilebilirliği ve organik olmasının yanı sıra belirli bir sıcaklık ile preslenerek üretilen malzemenin üretim aşamasında kolay işlenmesi, mekanik dayanımı, suya dayanıklılığı, yangın direnci, hafifliği ve ömrü bittiğinde geri dönüşümünün olması gibi avantajlarından dolayı 20. yüzyıldan itibaren yapı alanında ahşap çok daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde mimari alanda, ahşap yapı üretimi giderek çoğalmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ahşap malzemenin yapısı ve yapı sistemleri anlatılarak, günümüz mimarisinde kullanılan endüstriyel ahşap yapı elemanları üzerinden dünyada yapılmış olan yapı örnekleri incelenmiştir. Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tezin amacı belirtilip çalışma yönteminden bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ahşap malzeme ile ilgili genel bilgilere yer verilerek, ahşabın geçmişten günümüze kadar olan gelişim süreci anlatılmaktadır. Daha sonra ise ahşap malzemenin fiziksel, kimyasal, anatomik ve mekanik yapılarından bahsedilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ahşap yapı üretim sisteminin tarihsel gelişim süreci göz önünde bulundurularak sırasıyla ilkel, geleneksel ve ileri teknoloji sistemler incelenmiştir. Geleneksel ve ileri teknoloji sistemlerin alt başlıklarına da değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde endüstriyel ahşap yapı elemanları anlatılmış ve yapı elemanının uygulanan bir yapıda kullanımını incelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise Dünya’da uygulanan çok katlı ahşap yapı örneklerine yer verilmiştir. Dünya’nın çeşitli bölgelerinden seçilen çok katlı ahşap yapı projeleri anlatılarak, buralarda kullanılan endüstriyel ahşap yapı elemanı çeşidi ve strüktür sistemleri incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümü olan sonuç bölümünde ise, araştırılan ve yazılan konular ile ilişkin elde edilen sonuçlardan bahsedilmektedir.

Anahtar kelimeler; Yapı Sistemleri, Ahşap, Ahşap Yapı, Endüstriyel Ahşap, Ahşap Malzeme.

INVESTIGATION OF INDUSTRIAL WOODEN BUILDING ELEMENTS AND BUILDING SAMPLES USED IN CURRENT ARCHITECTURE

Şule Nur CAŞTUR

ABSTRACT

Wood has been one of the building materials that people have used for their most basic needs since ancient times. Wood material has become a building material with an important and wide range of use in today's construction field by producing solutions to the structural problems of the material with technological developments over time.

In addition to its easy availability and organic nature, wood has become a much more common material in the field of construction since the 20th century, due to its advantages such as easy processing, mechanical strength, water resistance, fire resistance, lightness, and recycling at the end of its life. started to be used. Today, in the architectural field, the production of wooden structures is increasing.

In this thesis, the structure of wood material and its building systems were explained and examples of buildings made in the world were examined on the industrial wooden building elements used in today's architecture. The study consists of six chapters. In the first chapter, the aim of the thesis is stated and the working method is mentioned.

In the second part of the study, general information about wood material is given and the development process of wood from past to present is explained. Then,

the physical, chemical, anatomical and mechanical structures of the wood material are mentioned.

In the third part of the study, primitive, traditional and high-tech systems were examined, taking into account the historical development process of the wooden structure production system. The subtitles of traditional and high-tech systems are also mentioned.

In the fourth part of the study, industrial wooden construction elements are explained and the use of the construction element in an applied structure is examined.

In the fifth part of the study, examples of multi-storey wooden structures applied in the world are given. Multi-storey wooden construction projects selected from various regions of the world were explained, and the type of industrial wooden building elements and structural systems used in these areas were examined.

In the conclusion part, which is the sixth part of the study, the results obtained regarding the researched and written subjects are mentioned.

Keywords; **Building Systems, Wood, Wood Construction, Industrial Wood, Wood Material.**

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
RESİM LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR.....	xviii
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	4
1.AHŞAP.....	4
1.1. AHŞAP MALZEME.....	4
1.2. AHŞABIN TANIMI.....	4
1.3. AHŞABIN TARİHÇESİ.....	5
1.4. AHŞABIN YAPISI.....	10
1.4.1. Ahşabın Fiziksel Yapısı.....	10
1.4.2. Ahşabın Kimyasal Yapısı.....	11
1.4.3. Ahşabın Mekanik Yapısı.....	12
1.4.4. Ahşabın Anatomik Yapısı.....	13
1.5. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	14
İKİNCİ BÖLÜM.....	15
2. AHŞAP YAPI SİSTEMLERİ.....	15
2.1. İLKEL AHŞAP SİSTEMLER.....	16
2.2. GELENEKSEL AHŞAP SİSTEMLER.....	16
2.2.1. Geleneksel Ahşap Yığma Sistemler.....	17
2.2.2. Geleneksel Ahşap İskelet Sistemler.....	19

2.3. GÜNÜMÜZDEKİ İLERİ TEKNOLOJİ AHŞAP SİSTEMLER.....	22
2.3.1. Ahşap Dikmeli ve Kirişli İskelet Sistemler	24
2.3.2. Ahşap Balloon Çerçeve Sistemler.....	29
2.3.3. Ahşap Platform Çerçeve Sistemler	33
2.3.4. Ahşap Panel Bileşen Sistemler.....	36
2.3.5. Modifiye Çerçeve Sistemler	40
2.3.6. Volumetrik Hacimsel Sistemler	42
2.3.7. Karma Sistemler	44
2.4. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ	44
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	46
3. ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI ELEMANLARI.....	46
3.1. YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE AHŞAP / GLULAM (Glued Laminated Timber). 48	
3.1.1. The Science and Modernity Dome / Cern, Geneva.....	54
3.2. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP / CLT (Cross Laminated Timber).....	58
3.2.1. Synege Office / Japonya	64
3.3. YAPISAL KOMPOZİT AHŞAP / SCL (Structural Composite Lumber)	70
3.4. LAMİNE KAPLAMA AHŞAP / LVL (Laminated Veneer Lumber)	70
3.4.1. Motat Havacılık Sergi Salonu /Auckland, Yeni Zelanda	76
3.5. PARALEL YONGA AHŞAP / PSL (Parallel Strand Lumber)	82
3.5.1. Bamfield Marine Centre / Bamfield, Bc, Kanada.....	85
3.6. YÖNLENDİRİLMİŞ YONGA AHŞAP / OSL (Oriented Strand Lumber) ve LAMİNE YONGA AHŞAP / LSL (Laminated Strand Lumber)	88
3.6.1. Audain Sanat Müzesi / Whistler, Kanada	94
3.7. ÇİVİLİ LAMİNE AHŞAP / NLT (Nail Laminated Timber).....	99
3.7.1. T3 Ofis Binası / Minneapolis, ABD	103
3.8. KAVELALI LAMİNE AHŞAP / DLT (Dowel Laminated Timber).....	106
3.8.1. 111 East Grand / Des Moines, ABD	111
3.9. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ	117

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	119
4. ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI UYGULAMA ÖRNEKLERİ.....	119
4.1. FORTÉ / MELBOURNE, AVUSTRALYA (2012)	120
4.2. TREET / BERGEN, NORVEÇ (2015).....	125
4.3. ORİĞİNE/ QUEBEC, KANADA (2017)	133
4.4. BROCK COMMONS / VANCOUVER, KANADA (2017)	137
4.5. LİGHTHOUSE / JOENSUU, FİNLANDİYA (2019)	142
4.6. MJØSTÅRNET / BRUMUNDDAL, NORVEÇ (2019).....	148
SONUÇ.....	159
KAYNAKÇA	163

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1: Tek ve Çift Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi Görünüş, Kesit ve Perspektifi.	26
Şekil 2-2: Tek Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi.....	27
Şekil 2-3: Çift Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi.....	28
Şekil 2-4: Balon Çerçeve Sistem Kurulum Aşamaları.....	30
Şekil 2-5: Balloon Çerçeve Sistem Kurulumu.....	30
Şekil 2-6: Yangın Kesiciler ile İlgili Detay.....	31
Şekil 2-7: Platform Çerçeve Sistem Kurulumu.....	33
Şekil 2-8: Platform Çerçeve Sistem Kurulum Aşamaları.....	34
Şekil 2-9: Balon ve platform çerçevelerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 2-10: Ahşap Panel Bileşen Sistemler.....	37
Şekil 2-11: Küçük ve Geniş taşıyıcı paneller.....	39
Şekil 2-12: Modifiye Çerçeve Sistem Kurulumu ve Nokta Detayı.....	40
Şekil 2-13: Modifiye Çerçeve Sistem.....	41
Şekil 3-1: Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması.....	48
Şekil 3-2: Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glulam)	49
Şekil 3-3: Yapıştırılmış Lamine Ahşap İmalatı Şematik Sunumu.....	51
Şekil 3-4: Bilim ve Yenilik Küresi Zemin ve 1.Kat Planı.....	55
Şekil 3-5: Bilim ve Yenilik Küresi Kesitler.....	57
Şekil 3-6: Çapraz Lamine Ahşap (CLT)	59
Şekil 3-7: Çapraz Lamine Ahşap Panel Kesit Örnekleri.....	60
Şekil 3-8: CLT ve Glulam Panel Karşılaştırması.....	60
Şekil 3-9: CLT İmalatı Şematik Sunumu.....	61
Şekil 3-10: Zemin Kat ve Birinci Kat Planı.....	66
Şekil 3-11: Ofis Mimari Grafiği.....	68
Şekil 3-12: Syneçic Office Kesitler ve Nokta Detayı.....	69
Şekil 3-13: LVL Üretim Aşamaları.....	73
Şekil 3-14: Kaplamadan -Kesime kadar LVL Ürün Aşamaları.....	74
Şekil 3-15: Motat Havacılık Sergi Salonu Zemin Planı.....	78
Şekil 3-16: Motat Havacılık Sergi Salonu Kesitleri ve Detayı.....	81
Şekil 3-17: PSL Üretim Aşamaları.....	84

Şekil 3-18: LSL Üretim Aşaması.....	92
Şekil 3-19: SCL Ürünlerinin Dönüşüm Verimliliği.....	93
Şekil 3-20: Audain Sanat Müzesi Kat Planları	99
Şekil 3-21: T3 Ofis Binası Kat Planları.....	106
Şekil 3-22: DLT, Farklı Profil Türleri.....	109
Şekil 3-23: DLT panel üretim aşamaları.....	110
Şekil 3-24: DLT panel üretim aşamaları.....	111
Şekil 3-25: 111 East Grand Plan ve Kesiti.....	112
Şekil 3-26: 111 East Grand Yapısı Patlamış Aksonometrik Diyagramı.....	115
Şekil 3-27: 111 East Grand DLT Panel Döşeme Sistemi.....	117
Şekil 4-1: İncelenen Çok Katlı Ahşap Yapı Örnekleri.....	119
Şekil 4-2: Forté Yapısı Plan.....	122
Şekil 4-3: Treet, Kat Planı ve Güç Katında Kat Planı.....	127
Şekil 4-4: Treet Yapısı kurulum Aşaması.....	128
Şekil 4-5: Treet Yapısı kesitler.....	129
Şekil 4-6: “Güç katlarının” üstündeki beton levhaları gösteren yapısal model ve Yük taşıyan yapının dikey bölümü.....	130
Şekil 4-7: Yapının Modül Planı ve Modül.....	131
Şekil 4-8: Glulam Elemanları Bağlantı Detayı.....	131
Şekil 4-9: Yanal kuvvete dayanıklı sistem planı.....	134
Şekil 4-10: Origine, Kurulum Aşamaları.....	135
Şekil 4-11: Brock Commons, Zemin Katı ve Kat Planları.....	139
Şekil 4-12: Brock Commons Yapısı Taşıyıcı Sistemi.....	139
Şekil 4-13: Brock Commons Yapısı Görünüş.....	141
Şekil 4-14: Brock Commons Yapı Kesiti.....	141
Şekil 4-15: Lighthouse Yapısı Kat Planı.....	145
Şekil 4-16: Lighthouse Yapısı Kesit ve Görünüş.....	146
Şekil 4-17: Mjøstårnet Katları Yapım Tarihleri.....	149
Şekil 4-18: Mjøstårnet Yapım Aşamaları	150
Şekil 4-19: Zemin Kat Plan	151
Şekil 4-20: Mjøstårnet Kat Kesiti	152
Şekil 4-21: Trä8 Döşemeleri	153

Şekil 4-22: Mjøstårnet Yapısında Kullanılan Ahşap Elemanlar.....	155
Şekil 4-23: Mjøstårnet Yapısı, Toplantı, Ofis, Otel Katları Planı.....	157
Şekil 4-24: Mjøstårnet Yapısı, Daire, Etkinlik Alanı ve Çatı Katları Planı.....	158

RESİM LİSTESİ

Resim 1-1: Ahşabın yapısı ve tabakaları	11
Resim 2-1: Kütük yığma sistem yapı örneği	18
Resim 2-2: İskelet sistem yapı örneği	20
Resim 2-3: Balon Çerçeve Sistem Yapımı Örneği.....	32
Resim 2-4: Ahşap Panel Sistem Yapımı Örneği	37
Resim 2-5: Ahşap Hacimsel Modüllerin Fabrika İmalatı.....	42
Resim 2-6: Şantiye Sahasında Bir Modülün İstiflenmesi.....	43
Resim 2-7: Volumetrik Hacimsel Sistemle Yapılan Yapı Örneği.....	44
Resim 3-1: Glulam üretim aşaması	52
Resim 3-2: Bilim ve Yenilik Küresi Konum.....	54
Resim 3-3: Bilim ve Yenilik Küresi	55
Resim 3-4: Bilim ve Yenilik Küresi İç ve Dış Kabuk.....	56
Resim 3-5: Bilim ve Yenilik Küresi Yapım Aşamaları.....	58
Resim 3-6: Synegic Ofis binası	65
Resim 3-7: Synegic Ofis binası İç Mekân Tasarımı	67
Resim 3-8: Synegic Ofis binası Çalışma Alanı	67
Resim 3-9: LVL Kiriş ve LVL Panelleri	71
Resim 3-10: LVL Üretim Aşaması	73
Resim 3-11: LVL nem konuma ve su iticilik özelliği	74
Resim 3-12: Motat Havacılık Sergi Salonu Vaziyet Planı ve Dış cephe	77
Resim 3-13: Motat Havacılık Sergi Salonu	78
Resim 3-14: Motat Havacılık Sergi Salonu İç Mekân Görünümü	79
Resim 3-15: Motat Havacılık Sergi Salonu Ahşap Görünümü	80
Resim 3-16: Paralel Yonga Ahşap (PSL)	82
Resim 3-17: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi	85
Resim 3-18: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi Yapım Aşaması	86
Resim 3-19: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi İç Mekan	87
Resim 3-20: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi Detaylar	88
Resim 3-21: Yönlendirilmiş Yonga Ahşap (OSL)	89

Resim 3-22: Lamine Yonga Ahşap (LSL)	90
Resim 3-23: Soldan sağa:Yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL), Lamine Kaplama Ahşap (LVL), Lamine Yonga Ahşap (LSL) ve Paralel Yonga Ahşap (PSL)	93
Resim 3-24: Audain Sanat Müzesi, Kanada	94
Resim 3-25: Audain Sanat Müzesi	95
Resim 3-26: Audain Sanat Müzesi Galeri İç Mekanları	96
Resim 3-27: Audain Sanat Müzesi Ahşap Kullanım	97
Resim 3-28: Audain Sanat Müzesi Seyir Salonu	98
Resim 3-29: Çivili Lamine Ahşap	100
Resim 3-30: NLT ürünü, doğrusal (solda) ve kademeli (sağda) çivileme örneği ...	101
Resim 3-31: NLT, Farklı Profil Türleri	102
Resim 3-32: NLT, Farklı renk seçenekleri	102
Resim 3-33: T3 Ofis Binası Konumu.....	103
Resim 3-34: T3 Ofis Binası Kesit	104
Resim 3-35: T3 Ofis Binası Giriş ve Cephe.....	105
Resim 3-36: Kavelalı Lamine Ahşap (DLT)	107
Resim 3-37: DLT ürünü, doğrusal (solda) ve kademeli (sağda) sabitleme örneği...108	
Resim 3-38: DLT' nin Uygulanmış İki Örnek Profili	109
Resim 3-39: 111 East Grand Konumu	111
Resim 3-40: 111 East Grand Cephe Malzeme Görünümü	113
Resim 3-41: 111 East Grand Yapısı İnşa Aşaması	114
Resim 3-42: 111 East Grand İç Mekân Ahşap Kullanımı	116
Resim 4-1: Forté Yapısı, Avustralya	120
Resim 4-2: Forté, Yapım Aşaması ve Hazır Banyo Bölümleri	121
Resim 4-3: Forté, Dış Cephe Görünümü	123
Resim 4-4: Forté, İç Mekân	124
Resim 4-5: Treet Yapısı, Bergen, Norveç	125
Resim 4-6: Treet, Yapım aşamaları	132
Resim 4-7: Treet Yapısı İç Mekân Görünümü	132
Resim 4-8: Origine Yapısı	133
Resim 4-9: Origine, Yapım Aşaması	136

Resim 4-10: Isıtma, elektrik ve tesisat bağlantıları montajları	136
Resim 4-11: Origine, İç Mekân Görünümü	137
Resim 4-12: Brock Commons Yapısı	138
Resim 4-13: Brock Commons, CLT Döşeme ve Glulam-PSL Kolonlar.....	140
Resim 4-14: Öğrenci Çalışma ve Sosyal Alanları.....	142
Resim 4-15: Lighthouse Yapısı, Finlandiya.....	143
Resim 4-16: Lighthouse Yapısı Gece Görünümü.....	144
Resim 4-17: Montaj Çadırı ve Geçici Çatı	147
Resim 4-18: Lighthouse Yapısı Yapım Aşaması.....	147
Resim 4-19: Mjøstårnet Yapısı, Norveç	148
Resim 4-20: Mjøstårnet Yapısı Kat Bölümleri Ayrımı	151
Resim 4-21: Trä8 Döşemelerinin Uygulanması	154
Resim 4-22: Mjøstårnet Yapısı Çelik Bağlantıları.....	156
Resim 4-23: Mjøstårnet, İç Mekân	156

KISALTMALAR

EN	: Avrupa Standardı
APA	: The Engineered Wood Association
Glulam	: Yapıştırılmış Lamine Ahşap
CLT	: Çapraz Lamine Ahşap
SCL	: Yapısal Kompozit Ahşap
LVL	: Lamine Kaplama Ahşap
PSL	: Paralel Yonga Ahşap
OSL	: Yönlendirilmiş Yonga Ahşap
LSL	: Lamine Yonga Ahşap
NLT	: Çivili Lamine Ahşap
DLT	: Kavelalı Lamine Ahşap
CNC	: Computer Numerical Control
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim

GİRİŞ

İnsanların yaşamı boyunca gereksinim duyduğu barınma ve korunma ihtiyaçlarını karşılamak için, kendilerine mekânlar oluşturmaya çalışmışlardır. Doğadan kolaylıkla temin edilebilirliği nedeniyle mekân oluşturmak için tercih ettiği malzemelerden biri de ahşap olmuştur.

Ahşabın zamanla karakteristik özelliklerinin fark edilmesiyle birlikte yapı üretiminde kullanılması endüstrileşme dönemine kadar devam etmiştir. Endüstrileşme ile birlikte ahşap malzemenin yapılarda kullanım sıklığı azalmıştır. Daha sonrasında ise yaşanan sosyal ve ekonomik sıkıntılardan dolayı fazla gelişme kaydedememiştir. Devam eden süreçte dönemin şartlarından dolayı daha basit, hızlı ve ucuz konut üretim ihtiyacıyla beraber ahşabın yapıda kullanımını yeniden başlamıştır. Teknolojik ve ekonomik gelişmelerle birlikte ahşap malzemede gelişerek zamanla daha nitelikli hale gelmiştir.

Ayrıca endüstrileşmeyle beraber doğadaki fosil kaynakların ve yan ürünlerin büyük bir hızla tüketilmeye başlanması, bu kaynakların azalmasına, çevre kirliliğine ve doğal dengelerin büyük bir hızla bozulmasına neden olmuştur. Doğal dengelerin bozulması ve çevre kirliliğinin artmasının yanında endüstrileşmenin yapı sektörüne getirdiği bazı yeniliklerin insana ve doğaya verdiği zararlar zaman içinde ortaya çıkmıştır. Bütün bu gelişmelerle beraber kaynağını yenileyebilen doğal kaynaklar ve bu doğal kaynakların kullanımını gündeme gelmiştir. Yapı sektörünün enerji kaynaklarını kullanan büyük bir sektör olması ve insan yaşamını doğrudan etkilemesi, kaynağını yenileyebilen doğal kaynakların yapı sektöründe kullanılmasının önemini arttırmıştır. Kaynağını yenileyebilen doğal kaynaklar arasında geleneksel olarak eskiden beri kullanılan ahşap yapı malzemesinin tekrar yoğun bir şekilde ana yapı malzemesi olarak kullanılması gündeme gelmiştir. Aynı zamanda doğal dengelerin devamı için orman alanlarının ve ağaç potansiyelinin bilinçli kullanımı, ormanların devamı için ormanların gençleştirilmesi önemini arttırmıştır (Frühwald, 2002).

Endüstri devriminin getirdiği çevre kirliliği ve doğadaki olumsuz etkilerinin azaltılması için yapılması gerekenlerden biri de yapı alanında mümkün olduğunca doğal ya da çok az işlem görmüş malzemelerin (gömülü enerji değeri düşük) kullanımına öncelik vermektir. Böylece ekolojik sistemdeki enerji tüketimi ve atık oluşumu da belirli oranda azalmış olacaktır. Bu şekilde düşünöldüğünde ahşap, yapılarda kullanılması için akla ilk gelen malzemelerden biridir.

Ahşap, 21.yy'a kadar teknolojik imkânlarla birçok gelişim göstererek yapı üretiminde farklı biçimlerde ve farklı taşıyıcı sistemlerde kullanılan yapı malzemesi niteliğine ulaşmıştır. Günümüz teknolojiyle yapı üretiminde kullanımı daha kolay hale gelmiştir. Dünya' da Amerika, Norveç, İngiltere, Almanya, Kanada vs. birçok Avrupa ve İskandinav ölkelerine bakıldığında ahşap yapı üretiminde ve çok katlı ahşap yapı uygulamalarında artan bir yoğunluğun olduğu görölmektedir.

TEZİN AMACI

Yapılan tez çalışmasında, 21.yy'ın teknolojik imkanlarıyla geliştirilen ahşap malzemenin, çok katlı yapı üretiminde kullanımının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ahşabın fiziksel, mekanik, kimyasal ve anatomik özellikleri bahsedilerek yapısı incelenmiştir.

Ahşap yapı malzemesi, kaynağını yenileyebilmesi, üretiminde ve kullanımında diğer malzemelere göre daha az enerji gerektirmesi, ömrü tamamlanmış yapıların geri dönüştürülebilmesi gibi daha birçok niteliği olan doğal bir yapı malzemesidir. Ahşap bu niteliklerinden dolayı çevre kirliliğini de azaltmaktadır. Ayrıca ahşabın daha fazla ve bilinçli bir şekilde kullanımıyla ormanların her zaman gençleştirilecek olması doğaya, insanlara faydasını arttıracaktır. Bu sebeple ahşabın yapı alanında yeniden kullanılması gerektiği ve önemi hazırlanan tez çalışmasında anlatılmak istenmiştir.

Günümüz mimarisinde endüstriyel ahşap yapı elemanları ile uygulanmış çok katlı ahşap yapıların, malzeme sorunlarına çözüm getirilecek şekilde üretilmesi, ısı yalıtımının yapılabilmesi ve birçok tasarım olanaklarıyla yapılması tez çalışmasının

önemini göstermektedir. İlerleyen bölümlerde tez çalışmasında ileri teknoloji ahşap yapım elemanlarının tasarım kriterleri Avrupa, Amerika ve İskandinav ülkelerinde uygulamaları yapılan çok katlı ahşap yapı örnekleri, proje bilgileri, yapı özellikleri ana hatlarıyla incelenerek açıklanmıştır.

ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Çalışmada aşağıda belirtilen adımlar izlenmiştir.

- Ahşabın tanımı, tarihsel süreç içerisindeki kullanım alanları açıklanarak fiziksel, kimyasal, anatomik ve mekanik yapısı araştırılmıştır.
- Geleneksel ahşap yapı sistemleri anlatılmıştır. Daha sonra günümüzdeki ileri teknoloji ahşap yapım sistemleri yedi başlık altında anlatılmıştır.
- Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları ayrı başlıklar altında incelenmiş ve Dünyada çok katlı ahşap yapı imalatında kullanılan yapım sistemlerinin imalat, montaj, inşaat süreci, mekanik ve performans özellikleri açıklanmıştır.
- Bütün bu çalışmalar sonucunda, Dünya'daki çok katlı ahşap yapı örnekleri incelenmiş ve projelere ait çalışmalar gösterilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1.AHŞAP

1.1. AHŞAP MALZEME

Ahşap, tarih öncesi çağlardan beri insanların yapı yapmakta kullandığı en eski ve en yaygın yapı malzemelerindendir.

Ahşap, doğayla tamamen uyumlu olan ve geri dönüşümü kolay olan, diğer yapı elemanlarına nazaran yoğunluğuna oranla mukavemeti oldukça iyi olan, diğer yapı malzemeleriyle uyumlu ve doğru kullanıldığında çok uzun ömürlü olabilen sürdürülebilir bir malzemedir (Çalışkan, 2019).

Yapılarda bazen taşıyıcı bazen de kaplama malzemesi olarak kullanılan ahşap, geniş kullanım olanağına sahip bir malzemedir. Ahşap; kolay işlenmesi, ekolojik bir malzeme ve kolayca geri dönüşebilmesi aynı zamanda hafifliğine karşın yüksek taşıma kapasitesine sahip olması gibi özelliklerinden dolayı, yapılarda tercih edilen bir malzeme olmuştur.

1.2. AHŞABIN TANIMI

İnsanlığın ilk yapı malzemelerinden biri olan Ahşap, ağacın işlem görmesi ile meydana getirilen, lifli, heterojen ve anizotrop dokudan oluşan organik bir yapı malzemesidir.

Anizotrop: Mekanik özellikleri muhtelif istikametlere göre değişen malzeme demektir. Farklı bölgelerinde farklı özellikler göstermesidir. Örneğin; Bazı yerlerde çekme, bazı yerlerde basınç özelliği göstermesi gibi.

Doğal ve ekolojik aynı zamanda doğadan kolaylıkla elde edilen bir malzeme olan ahşap, eski çağlardan günümüze kadar insanların yaşamında farklı form ve taşıyıcı sistemlerde kullanılan en eski ve en yaygın yapı malzemesi olmuştur.

1.3. AHŞABIN TARİHÇESİ

İnsanoğlunun Ahşap malzeme kullanımını eski çağlardan beri ısınma, barınma, aydınlanma gibi ana gereksinimleri için kullanması ile başlamıştır. Bu gereksinimleri karşılamak için ilk tercih ettiği malzemelerden biri Ahşap olmuştur. Ahşap yapı alanında ilk olarak kütüklerin üst üste yığılması şeklinde kullanılmıştır. Ahşap yapılara ait en eski bulgular M.Ö. 3000-800 yıllarına dayanmaktadır (Erenman, 1988). 1854 yılında Zürih Gölü'nün sularının çekilmesi ile ortaya çıkan ahşap kalıntıları bu kanıtı doğrulamaktadır. Zürih gölü tarih öncesi kazık temelli evler açısından oldukça zengindir. İlk kazık temelli ev kalıntısı 1854 yılında Obermeilen'de bulunmuştur. 1854'te göldeki su seviyesi düşmesiyle, Obermeilen'de kemik, taş, boynuz ve ahşap parçaları bulunmuş ve ortaya tarih öncesine ait yerleşim kalıntıları çıkmıştır.

Ağaç kovuklarında başlayan barınma macerası daha sonra saz, kamış gibi malzemelerle destek bulmuş, en sonunda da ahşap yığma ve karkas sistemine geçilmiştir. Ahşap, zaman içinde kullanım biçimleri ve tekniğinde ciddi boyutlarda değişim göstermemesiyle de ilginç bir malzeme olarak diğerlerinden ayrılır. Örneğin ahşap çatı kuruluşunda ilk defa "Frigya'da" kullanılmış olan teknikler ile bu günkü geleneksel teknikler birbirine çok benzemektedir.

Ahşabın Anadolu'daki ilk örnekleri deyince akla ilk gelen Ege Bölgesi'ndeki Dorik tapınaklarıyla, İÖ. 600-200 yılları arasında kayalara oyulan basit odalardan oluşan Güneybatı Anadolu'daki "Likaya Mezarları" olur.

Ahşabın yapılarda taşıyıcı iskelet olarak kullanılmasındaki en temel gelişme, geçtiğimiz yüzyılın başlarına rastlamaktadır. Artan ve gittikçe yaygınlaşan sanayileşmenin ortaya çıkardığı ihtiyaçlar ile I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında değerli bir silah hammaddesi olan çeliğin yapı alanından çekilmesi, ahşap malzemenin farklı fonksiyonlardaki yapılarda ve daha rasyonel olarak kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir.

Bu dönemde ahşap malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmış, birleşim elemanları (çivi, kama, bulon vb.) üzerinde çalışmalar yapılmış, ahşabın dış etkilere karşı korunmasını sağlayan malzeme ve yöntemler geliştirilmiştir (Çalışkan, 2019).

Dolayısıyla, günümüzde kullanılan modern bileşim elemanlarının birçoğunun bulunması, ahşabın çeşitli dış etkilere karşı korunmasını sağlayan malzemelerinin ve kullanma yöntemlerinin geliştirilmesi de bu döneme rastlamaktadır.

Endüstri Devrimi sonrasında malzeme teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanır. Gelişen ekonominin ve teknik imkanların etkisiyle doğal ahşap yeniden yorumlanarak, ahşaptan yeni kompozit ürünler elde edilmeye başlanmıştır. Endüstrinin gelişimiyle yeni boyutlar kazanan ahşap malzemenin kullanım alanı genişlemiş ve esneklik kazanmıştır.

(1840 yılı sonrasında) Endüstriyel gelişmeler ile beraber ahşap kaplama tekniği yaygınlaşmış olsa da aslında M.Ö.1500 yılında Mısır Firavunu Tutankamen'nin mezarında bulunan fildişi kakmalı abanoz ve sedir kaplama bir sandık, kaplama tekniğinin eski zamanlarda da kullanıldığını ve bilindiğini göstermektedir. Yine M.S. VI. Yüzyılda Japonya'da kullanılan ağır kağıtlarda, bugün üretilen lif levhalarla benzerlik göstermektedir.

Endüstri devrimin ardından teknolojik gelişmeler ile birlikte ahşap malzemenin fizyolojik ve anatomik yapısında da gelişmeler sağlanmıştır. Bu gelişmeler ahşabın korunması konusunda kendini göstermiş; doğal ahşap malzemenin nem deformasyonunu gidermek, yanmazlığını sağlamak ve mikroorganizmalara karşı direncini artırmak gibi yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca yapay ahşap imalatındaki artış, istenen boyutlarda malzeme imalatı, kimyasal yöntemlerle mukavemeti artırılmış ahşap imalatı, makineleşme ile daha temiz işçilik ve seri üretim gibi olumlu birçok gelişmeleri de beraberinde getirmiştir.

Endüstri devrimi sonrasında ahşap teknolojisindeki oluşan bu gelişmeler neticesinde;

- Başta İngiltere’de “The Timber Research and Development Association” 1935 (TRADA) ve Finlandiya, Norveç, Almanya gibi Avrupa ülkelerinde,
- Amerika’da “American Institute Of Timber Construction” (AITC)
- Kanada’da “Canadian Wood Council” (CWC) gibi birçok ahşap araştırma merkezleri kurulmuştur.

1900 öncesinin önemli olayları arasında, 1810 yılında Portsmouth’da ilk buharlı bıçkı makinesinin geliştirilmesini, 1870 yılında Berlin’de ilk kez büyük miktarda lamine ahşap plaka ve 1898 yılında İngiltere’de ilk kez ahşap lifli levha üretilmesini gösterebiliriz. 1906 yılında Almanya’da tahta katman tabakalı taşıyıcıların ilk formu oluşturulmuş, Paul Bonatz 1933 yılında ilk yenilikçi çok katlı ahşap konut sitesi Kochhofsiedlung’u kurmuştur (Aichholzer vd., 1999).

İlk talaş levha 1908’de Avusturya’da heraklith adı altında; ilk lif levha 1915’te Amerika’da ve ilk yonga levha 1941’de Torfit-Werke Firması tarafından Almanya’da üretilmiştir.

Ahşabın, yapı malzemesi olarak kullanımındaki ikinci büyük gelişmesi, II. Dünya Savaşı ve sonrasında gerçekleşmiştir. Daha önceden bilinen ve yeterince gelişemeyen tutkallı ahşap yapı elemanlarının bu aşamada büyük rolü olmuştur. Savaş sanayi kollarında geliştirilmiş olan her türlü iklim koşulları ve rutubete dayanıklı yapay reçine tutkalı bulunmuş ve ahşap yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler, o dönemin pek çok yazarı tarafından özellikle 1958’lerden sonraki yayınlarda, inşaat teknolojisi açısından reform olarak nitelendirilmiş ve ahşabı diğer yapı malzemeleri ile yarışır hale getirmiştir.

Plastik esaslı tutkalların geliştirilmesi ile tutkallı lamine konstrüksiyonları ortaya çıkmış, bu da mimaride ahşap kullanımın çok geniş boyutlara ulaşmasını sağlamıştır.

Belli bir sıcaklık altında preslenerek üretilen bu malzeme yüksek mekanik dayanımı, yüksek yangın direnci, su ve su buharına büyük dayanıklılık göstermesi, hafifliği vb. özellikleri nedeniyle 20. yüzyılın başlarından itibaren mimarlık alanında çok daha etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yoğunlaştırılmış ve emprenye edilmiş masif ahşap ise özellikle 2. Dünya Savaşı sonrası çelik endüstrisinde başlayan sıkıntı sonucu ve plastik esaslı tutkalların geliştirilmesi ile yapıya girmiştir (Eriç, 1994).

Savaşlar sonrası dönemde hızlı ve ucuz yapı sistemlerine ilgi artınca, Almanya'nın yeniden yapılandırılması ve gelişiminde ahşap büyük rol oynamıştır. Ancak malzeme nitelikleri ve yapı teknolojisi yeterince gelişmemiş olduğundan, kalite düşüklüğüne dayalı sorunlar ahşap kullanımını iç mekânlar ve çatı sistemleri ile sınırlı bırakmıştır (Aichholzer vd., 1999).

1980'li yıllarda sürdürülebilirlik sorunlarıyla beraber doğaya dönüş başlamıştır. Bu dönemde bozulmaz bir malzeme olduğu düşünülen betonarmenin de yenilenme ihtiyacının bulunduğu anlaşılınca ahşap yeniden keşfedilmiştir (Affentranger vd, 2000). 20. yüzyılda kendini plantasyonların da desteği ile yenileyen orta Avrupa ormanlarındaki stok artışı ve küresel ısınmayı beraberinde getiren çevre sorunları ahşabın gelişimini desteklemiştir. Hannover'de yapılan Expo 2000, bu eğilimin açıkça ortaya konduğu ilk uluslararası etkinliktir.

Endüstriyel ahşap malzeme türlerinin geliştirilmesi, yapılarda ahşabın yeni kullanım alanlarının doğmasıyla sonuçlanmıştır. Günümüz koşullarında statik ve mukavemet hesaplarının ihtiyaç duyacağı her türlü kesit ve uzunlukta ahşap yapı elemanlarının üretilmesini ve projelendirilmesini mümkün kılmıştır.

Avrupa Birliği'nin kurulmasından sonra tüm endüstriyel ahşap ürünleri EN standartları altında toplanmış ve halen de üretim, imalat ve uygulamalar bu standartlar çerçevesinde yapılmaktadır. Bu standartlardan bazıları şu şekildedir (European Standards EN 14081-1,2005);

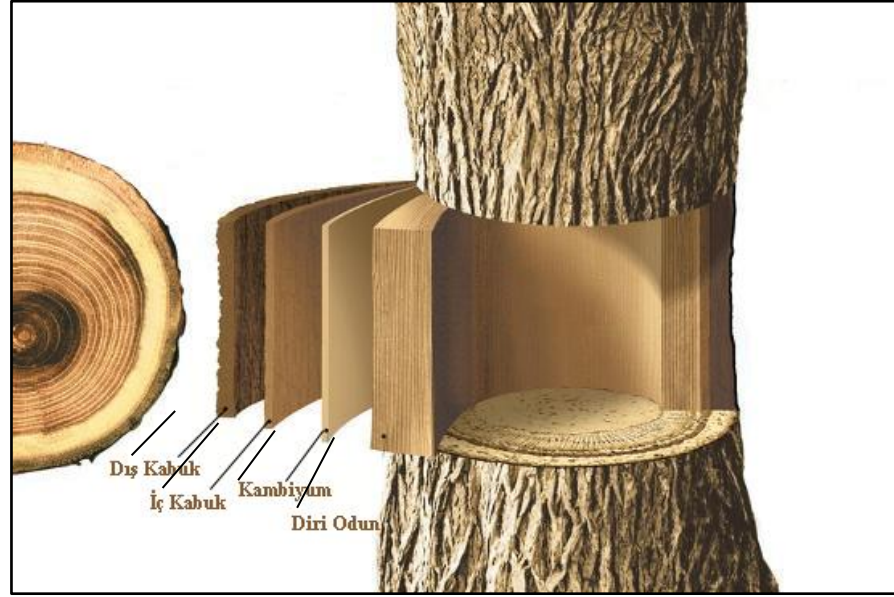
- EN 336, 338, Yapısal Ahşap, boyutlar, izin verilen deformasyonlar, dayanım sınıfları,
- EN 350-1, 350-2, Ahşap ve ahşap kaynaklı ürünlerin dayanımı,
- EN 384, EN 1912, Strüktürel ahşap, ahşap malzemenin mekanik, dayanım özellikleri ve yoğunluğuna bağlı karakteristik değerleri,
- EN 408, Ahşap strüktürler, strüktürel ve tutkallı tabakalı ahşap, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi
- EN 844-7, 9, 10, EN 1310:1997, EN 13183-2, EN 13238, EN 13556 Yuvarlak ahşap kerestenin her türlü özellikleri ve korunma yöntemleri,
- EN 13238, EN 13556, Yangın dayanımına ilişkin özellikler ve testler,
- EN 14081-2:2005, EN 14081-3:2005, EN 14081-4:2005, Ahşap strüktürler, dikdörtgen kesitli strüktürlerin dayanımları,
- EN 1995-1-1:2004 (E), Eurocode -5, Ahşap ve Endüstriyel ahşap Yapıların hesap ve yapım kuralları.

1.4. AHŞABIN YAPISI

Organik yapı malzemesi olan Ahşap, ağaçtan elde edilen lifli ve heterojen dokuya sahip bir malzemedir. Doğada çok sayıda ağaç türleri yetişmekte olup ağaç türlerinden elde edilen ahşapların özellikleri türden türe değişmektedir. Genel olarak ağaç malzeme; organik, gövdesi odundan oluşan, üstü kabuklu, kökleri toprağa tutunmuş, gövdesi ve üst bölümü dallarla dolu, iğne veya geniş yapraklı olabilen, uzun veya kısa boylarda yetişebilen bir bitkidir. Bünyesinde bulunan odunun hücre yapısından dolayı diğer yapı malzemelerine oranla daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Genel olarak; fiziksel, kimyasal ve anatomik yapısı bir takım karakteristik özellikler taşımaktadır. Botanik açıdan ağaç türleri ele alındığında iki ana başlık altında ağaç türlerini sınıflamak mümkündür: iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlar. Bunlardan iğne yapraklı ağaçların genellikle kozalakları olup odunları daha yumuşaktır. Bu sebeple işlenmeleri daha kolay ve fiyatları da yapraklı ağaçlara göre daha uygun olmaktadır. Yapıda çoğunlukla iğne yapraklı ağaçlar tercih edilmektedir. İğne yapraklı ağaçlardan çamlar (çırallılar), yapıda dış etkilere açık kısımlarda kullanılırken, ladin ve köknar gibi ağaç türleri de iç mekanlarda tercih edilmektedir. İğne yapraklı ağaçların başlıcaları; çamlar, köknar, ardıç, ladin, sedir vb., yapraklı ağaçların başlıcaları ise; meşeler, kayın, gürgen, kestane, kızılbaş, kavak vb.'dir (Kocataşkın, 1966).

1.4.1. Ahşabın Fiziksel Yapısı

Ağaç canlı bir organizma olup kök, gövde ve dallardan oluşur. Ahşabın hammaddesi olan ağacın en kesiti, iç içe halkalardan oluşan bir dokuya sahiptir. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında oluşan bu halkalar bünyesinde birçok lif içerir. Ağaç hücreleri ince, uzun borucuklar şeklindedir bunlara lif denir. Kökler aracılığıyla topraktan emilen özsu bu liflerin iç boşlukları olan kanallardan geçer. Ağaç gövdesinin çap kesiti incelendiğinde, ağacın fiziki yapısı merkezden dışa doğru; öz, odun ve yıl halkaları, kambiyum, iç kabuk ve dış kabuktan oluşmaktadır (Herzog vd., 2003).



Resim 1-1: Ahşabın yapısı ve tabakaları (Url-1).

1.4.2. Ahşabın Kimyasal Yapısı

Ahşap düşey yönde yaşayan hücrelerden oluşur. Borucuk şeklindeki bu hücrelerde boy enin birkaç yüz katıdır. Bu borucuklar esas taşıyıcı yapıyı oluştururlar ve “lignoselüloz” kimyasal yapısına sahiptirler. Bunları bir arada tutan reçine ise jelimsi yapıda “pektoselüloz” dur. Kısaca ahşabın kimyasal yapısı karbonhidrat kökenli “selüloz”, “lignin”, “pektin” maddelerinden oluşur. Özellikle selüloz ve lignin kuru odun ağırlığının %80-85’lik bölümünü oluşturur.

Ahşabın ana yapı malzemesi olan selüloz çok sayıda selüloz lifinin uç aca eklenmesiyle polimer bir yapıdan oluşmaktadır. Yapısındaki selüloz liflerinin boyuna doğrultuda molekül bağları çok kuvvetli iken, yanal doğrultuda molekül bağları daha zayıftır (Kocataşkın, 1966).

Ahşapta yaklaşık %40-50 oranında bulunan “selüloz”, ahşabın fiziksel özelliklerinden eğilme ve çekmeye karşı mukavemet kazanmasını sağlar. “Hemiselüloz” %20-35 oranlarında bulunmakta olup, hücre duvarlarını güçlendirir, depo madde görevi yapar ve geçit zarlarını ayarlar, su emicidir. %20-30 oranındaki “Lignin” ahşabın basınca karşı mukavemetini sağlar. Düşük oranda su emicidir.

Ahşapta ayrıca %0-5 oranlarında albumin, eteri yağlar, karbonhidrat, mineral tuz, mum, reçine, tanen ve renk veren maddeler gibi muhtelif cinste maddeler de bulunmaktadır. Bu kimyasal maddelerden ağacın büyük bir bölümünü oluşturan selüloz ve lignin, ağaca mukavemetini veren ana maddelerdir. Yukarıda verilen oranlar ortalama olup ağacın cinsine göre farklılıklar gösterebilir. Ağacı oluşturan hücrelerin birbirine yapışması ile ahşap çekme gerilmelerine daha dayanıklı bir nitelik kazanmaktadır.

Ayrıca ağaç yaşlandıkça yapısındaki lignin oranı artmaktadır. Ahşabın yapısındaki lignin maddesinin artışı, ahşabı daha sert ve mukavemetli hale getirmektedir (Eriç, 1994).

Ahşap yapısındaki liflere bağlı olarak mekanik özellikleri ve işlenebilme potansiyeli değişmektedir. Lif dokusunun düzgünlüğü arttıkça, ahşabın işlenebilmesi artarken, lif sıklığı arttıkça ahşabın mukavemeti de artmaktadır (Eriç, 1994).

1.4.3. Ahşabın Mekanik Yapısı

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması nedeniyle mekanik özelliklerini incelemek zordur. Lifleri yönündeki tüm özellikler, basınç, çekme dayanımları, enine yöndeki dayanımlarından yüksektir. Ahşap su içeriğinin fonksiyonu olarak şişen, büzülen bir malzeme olduğundan mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Hücre boşluklarındaki su, buna serbest su denir, kesimi izleyen günlerde buharlaşır. Hücre çeperine yapışmış emme su ise uzun süre ahşap içinde kalır. Kendi haline bırakılan bir tomruk kozalaklılarda 2 yılda, yapraklılarda 4 yılda ancak kurur. Ahşabın liflere dik doğrultuda basınç kuvvetlerine karşı dayanım azdır. Lifler doğrultusunda ise kesme kuvvetine karşı dayanım azdır. Ahşaptan üretilen suni ahşap malzemelerin özellikleri ahşabın özelliklerine benzer. Ancak üretim amaçlarına uygun olarak geliştirilen bu tür homojen ve izotrop malzemeler, doğal ahşapta görüldüğü gibi lif yönlerine bağlı olarak değişen değerler gösteremezler. Elastisite modülleri: çamlarda liflere paralel 10000 N/mm², lifler dik 300 N/mm² Meşe, kayın liflere paralel 12500 N/mm², lifler dik 600 N/mm² Tabii olarak kurutulmuş %10-15 nemli meşenin yoğunluğu 800 gr/dm³, çamın 550-600 800

gr/dm³'tür. Liflere paralel durumda 1. sınıf çamın çekme direnci 100-105 kg/cm³, basınç direnci 85-100 100-105 kg/cm³'dir. Değişik hava etkilerinde çabuk yıpranır. Yangına karşı dayanıksızdır (Bilgin, 2009).

1.4.4. Ahşabın Anatomik Yapısı

Ahşabın yapısını oluşturan hücreler; traheler, traheidler, paranzima hücreleri ve skleranzim lifleri olarak sıralanabilir.

Ahşap çok sayıda hücrenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu hücreler, ağacın ömrü boyunca farklı görevler üstlenmektedirler. Hücreler, üstlendikleri göreve göre boyutu, yapısı, şekli ve hücre duvarı kalınlığı birbirinden farklı olmaktadır. İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların yapısında farklı tür hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler, ağaca hem mekanik destek sağlamakta hem de sıvı taşınmasında görev almaktadırlar. Trakeid hücreleri, ince, uzun ve hücre duvarları yapısına göre görece kalındır. İğne yapraklılarda yer alan bir başka hücre tipi ise paranzima hücreleridir. Paranzima hücreleri yapraklı ağaçlarda da yer almaktadır ve her iki tür ağaçta da besin depolamakla görevlidirler. Reçine kanalları ise, hücre olmamakla beraber, özelleşmiş paranzima hücreleri yapısındadırlar. Çam türleri ve ladin gibi iğne yapraklı ağaç türlerinde bulunmakta ve ağaçta herhangi bir hasar oluşumunda salgılanmaktadır (Murphey, 1974).

Yapraklı ağaçların yapısında gözenek (vessel) adında uzun tüp şeklindeki hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler ağaca su taşınmasında görev almaktadırlar. Fibril (fiber) adındaki hücreler de yapraklı ağaçlarda mekanik işlevde yer almaktadır. Bu hücreler, ince, uzun bir yapıya sahip ve ince duvarları olan kapalı hücre yapısındadırlar. Paranzima hücreleri ise, ince hücre duvarlarına sahip ve ağaç için gerekli besini depolamakla görevlidirler (Murphey, 1974).

1.5. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahşap, eskiden beri insanların yapı yapmak için kullandığı malzemelerinden biridir. Doğadan temin edilmesi, kolay işlenmesi, ömrü tamamlandığında geri dönüşümünün mümkün olması, gömülü enerji miktarının az olması gibi nedenlerden dolayı geleneksel yapı sistemlerinde kullanımı 20.yy'a dek yaygın olmuştur. Bu dönemlerde yaşanan dünya üzerindeki olaylar neticesinde ortaya çıkan konut ihtiyacıyla, diğer yapı malzemelerine göre daha hızlı ve ucuza mal edildiğinden sıklıkla konut üretiminde kullanılmıştır. Ahşap 20.yy'dan sonra yerini beton ve çelik yapı sistemlerine bırakarak geri planda kalmıştır. 20.yy'ın sonlarına doğru ise insan ve çevre sağlığı bakımından diğer yapı malzemelerine göre avantaj sağlaması ile yapılarda ahşap malzeme kullanımı önem kazanmış ve gelişmiş ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır.

Ahşap, yapı üretiminde malzemenin kullanılmaya başlanması ile kullanılagelen geleneksel bir yapı malzemesidir. Geleneksel süreçte bölgesel bir yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap, günümüzde kullanılan diğer yapı malzemeleri ve enerji kaynaklarının yanında, genel yapı sektörü içinde teknolojik gelişmelerle beraber kaynağını yenileyebilen doğal bir mühendislik malzemesi olarak önemini her zaman biraz daha arttırmaktadır (Winter, 2002).

İKİNCİ BÖLÜM

2. AHŞAP YAPI SİSTEMLERİ

Yapı üretimindeki gelişmeler, ihtiyaçların ve malzeme türlerinin artması, teknolojik gelişmeler gibi birçok nedenlerden dolayı olmuştur. Hızla gelişen teknolojiyle birlikte yapı üretiminde kullanılan yapı sistemleri de gelişmiştir. Bu gelişim, ahşap yapı üretimindeki gelişmelere de katkı sağlamıştır.

Geleneksel tekniklerin yetersiz kalmasından dolayı başka yapım tekniklerinin önemi artmıştır. Farklı yapım tekniklerinin ortaya çıkması belirli bir süreç içerisinde gerçekleşmiştir. İlkel yapım sistemlerinden ileri teknoloji yapım sistemlerine kadar geçen sürecin her evresinde yapım teknikleri ve kullanılan malzeme teknolojileri de gelişme kaydetmiştir. Özellikle prefabrikasyon tekniklerindeki gelişme kendini daha belirgin bir şekilde göstermiştir.

Bu süreç ahşap yapı elemanlarının daha hızlı ve daha güvenli bir şekilde imal edilmesi, farklı bağlantı imkanlarının kullanılabilmesi, prefabrikasyonu ve farklı ahşap yapı üretim sistemlerini geliştirmiştir. (Cheret, 2000). Ahşap yapı sistemlerinin gelişimi, teknolojiye, bağlantı elemanlarının ve prefabrikasyon tekniklerinin gelişimine paralel olarak sürmektedir.

Yeni üretim teknikleri, ahşap malzeme temin kolaylıkları, nakliye gücünün artması, prefabrik üretimin yaygınlaşması, montaj kolaylığının oluşması gibi birçok nedenle beraber ahşap üzerinde daha önce uygulanmamış tekniklerin uygulanması sonucunu getirmiştir. Böylelikle ahşabın ileri teknoloji ile optimizasyonu sağlanmıştır (Ayaz, 2011).

Ahşap yapı üretim sistemlerinin, geçmişten günümüze kadar olan gelişim süreci, incelenecek olursa, üç farklı yapım tekniği başlığı altında incelenebilir. Bunlar;

- İlkel Sistemler
- Geleneksel Sistemler
- İleri Teknolojili sistemler şeklinde sıralanır.

2.1. İLKEL AHŞAP SİSTEMLER

İlkel yapım sisteminde yapı malzemesi, doğadan temin edilerek hemen hemen hiçbir işleme tabi tutulmadan doğal biçimiyle ya da çok az işlem görerek yapıda kullanılmaktadır. Bundan dolayı bu yapı sisteminde yapı fiziki problemlerine yönelik önlemler çok görülmemektedir.

Bu yapı sisteminde tüm yapım işlemleri şantiye de tamamlanmaktadır. Makina üretiminin söz konusu olmadığı üretimin bireysel yapıldığı, iş bölümünün olmadığı ve yapı üretimi yapılırken başka bir malzemeye ihtiyaç duyulmayan bir yapım sistemidir.

2.2. GELENEKSEL AHŞAP SİSTEMLER

Geleneksel yapım tekniği, uzun yıllardan beri denenmiş, alışlagelmiş yöntemlerle yöresel malzeme kullanarak gerçekleştirilen sistemdir (Halıcıoğlu,1999). Sistemin en önemli özellikleri; uzun süre içinde gelişmiş ve denenmiş olması, yöreye ve iklim koşullarına uygun bir üretim yapılması, kültürel değerleri bünyesinde barındırması, basit ve akılcı strüktürlerin oluşturulması, el işçiliğinin egemen olması, üretimde el aletlerinin kullanılması ve işçiliğin kalitesinin yapının inşa edildiği yörede ulaşılmış olan beceri düzeyine bağlı olması, uygulamadaki temel işlemlerin şantiyede gerçekleştirilmesi, üretimin tekil olması ve emek yoğun bir sistem olmasıdır (Kaya, 1997).

Özet olarak, geleneksel yapım sistemlerinde:

- İlkel yapı üretim sistemlerine göre nitelikli işgücü oranı daha yüksektir.
- Belirli kullanıcı istekleri ve belirli bir alan için özel tasarım çözümleri söz konusudur.
- Tasarım ve yapım aşamaları genellikle ayrı ekipler tarafından yürütülmektedir.
- Üretimin büyük bir bölümü yapının üzerine oturduğu alanda geçmektedir.
- El işçiliği ön plandadır fakat bazı üretim yöntemlerinde yapı makinaları kullanılmaktadır.

- Bazı yarı mamul yapı elemanları dışarıdan hazır halde alınmakta veya hazırlanarak şantiyeye getirilmektedir.

Geleneksel Ahşap sistemlerini strüktürel açıdan sınıflandıracak olursak eğer;

- Ahşap Yığma Sistemler
- Ahşap İskelet Sistemler olarak iki başlıkta sınıflandırabiliriz.

İki sistemde de asıl amaç barınma ve korunma gereksinimi gidermede, tüm yapı sistemlerinde karşımıza çıkacak olan yapı elemanlarının problemlerine çözüm getirilmesi için geliştirilmiştir.

2.2.1. Geleneksel Ahşap Yığma Sistemler

Ahşap yığma sistemler, malzemenin doğal halde ya da kısmen işlenerek belli bir düzende üst üste konulması ve köşe kısımlarının birçok yöntemlerle birbirine bağlanması sonucunda oluşturulan yapı sistemidir. Sistemin en önemli özelliği, üst üste konularak oluşturulan duvarlar taşıyıcı sistemi meydana getirmektedir. Yapı yükü duvarlar sayesinde temele iletilmektedir. Bu sistemde oluşturulan duvarların yüzeylerini kaplama ihtiyacı bulunmamaktadır.

Bu sistem, ahşabın kolay elde edilebildiği dünyanın neredeyse her yerinde kullanım olanağı bulunmaktadır. A.B.D.'nin kuzeyi, Rusya, Kanada, Japonya, İskandinav ülkeleri gibi birçok ülkede ahşap yığma yapılara rastlanmaktadır. Bazı ülkelerde bu sistem yaygın bir gelenek haline gelmişken, bazı ülkelerde ise yerel mimarlık dahilinde yorumlanması gereken bir teknik olarak kalmıştır.

Genellikle kulübeler, bir veya iki katlı konutlar, dağ evleri bu sistemle yapılmaktadır. Eskiden ahşap elemanları, geleneksel yöntemler kullanılarak birbirine geçmeli yapılırken günümüz mimarisinde prefabrik olarak yapılmaktadır. Ahşap elemanlar atölyelerde veya fabrikalarda hazırlanarak inşa edileceği yerde monte edilmektedir. Sistemin bazı dezavantajları ise çok miktarlarda ahşap kullanımı ve

yalıtım sorunlarının olmasıdır. Karşımıza çıkan bu yalıtım sorunu ahşap birleşim detaylarındaki çözümün yetersiz olmasından dolayıdır. Bu sorunun çözümlenebilmesi ahşaba uygulanan işlemlerin artmasıyla bağlantılıdır.

Bu işlemleri sistematik bir biçimde bölümlendirirsek eğer:

- Boşluklu Ahşap Yığma sistem
- Kütük Yığma Sistem
- Blok Ahşap Yığma Sistem
- Dolma Ahşap yığma Sistem



Resim 2-1: Kütük yığma sistem örneği (Url-2).

Yığma yapım sistemi endüstriyel yönüyle de ele alabileceğimiz bir sistemdir. Günümüz endüstriyel teknikleri ile ahşap yığma sistemli bir yapı; tasarım, prefabrikasyon, nakliye, montaj ve sonlama aşamaları olacak şekilde beş aşamada üretilmektedir.

Tasarım Aşaması: Statik açıdan malzeme dayanımının yeterliliğinden hareket ile tasarım yapılabildiği gibi bilgisayar destekli statik analiz ile de tasarım yapılması olanaklıdır.

Ön Üretim Aşaması: Ön üretim doğal ya da işlenmiş keresteler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Çoğunlukla malzeme boyutları ile geçme bölgeleri ön işlem görmekle birlikte yapının tüm eleman ve detaylarının bilgisayar kontrolünde etiketlenmesinin söz konusu olduğu, nakliye ve montaj planlamasının yapıldığı uygulamalara da rastlanmaktadır.

Montaj Aşaması: Ahşap kütükler üst üste yığılmakta ve ahşap geçme tekniği ile birleştirilmektedir. Montaj aşamasında kütük aralarına özel kauçuklar, köşe noktalara özel keçeler, duvar içerisine hava kanalları yerleştirilen ve köşelerde dikey olarak boydan boya çelik bulonlar ile sabitleme yapılan uygulamalar olduğu bilinmektedir.

Sonlama Aşaması: Yapının tesisat donanımları ile birden fazla katlı yapılarda merdiven uygulaması yapılarak üretim tamamlanmaktadır (Togay 2002).

2.2.2. Geleneksel Ahşap İskelet Sistemler

Yığma sisteminde ahşabın hem taşıyıcı hem dolgu malzemesi olarak işlev görmesi fazla miktarda ahşap kullanımına sebep olarak yapı maliyetini arttırmaktadır. Bu ve benzeri olumsuz nedenler yapı alanında iskelet sistemin gelişmesine yol açmıştır.

Ahşap iskelet sistemlerin ana ilkesi; taşıyıcı olan strüktür ve taşıyıcı olmayan dolgu malzemeleri olarak iki kısımdan oluşur. Strüktürün taşıyıcı olan kısımları dikmeler, yataylar ve çaprazlardır. Dikmeler, yapının yüksekliğine göre kesit ölçüleri

ve aralarındaki mesafelerin ayarlanması ile kat yüksekliğini oluşturmaktadır. Ayrıca düşeyde yük aktarımı dikmeler ile sağlanırken, döşemenin yükünü ve hareketli yükleri dikmelere aktaran yatay elemanlardır. Çaprazlar ise sisteme yatay yönden gelebilecek olan yüklere karşı direnç sağlayan elemanlardır. Mekân oluşturmak için kullanılan ara malzemeler ise taşıyıcı olmayan dolgu malzemeleridir.

Ahşap iskelet sistemler, temel üzerine ahşap elemanların belli bir düzen içerisinde birleştirilmesinin ardından dolgu ve kaplama malzemelerinin uygulanması ile oluşan taşıyıcı sistemlerdir. Yapı, temel üzerine dikme (taşıyıcı ve yardımcı dikme), yatay (kiriş ve başlık), ve çapraz (payanda ve yanlama) elemanlardan meydana gelen iskeletin oluşturulması ile yapılmaktadır. Yapının ana hatları ortaya çıktıktan sonra çatısı kapatılmakta daha sonra ise dolgu ve kaplama malzemeleri uygulanarak sistem tamamlanmaktadır.



Resim 2-2: İskelet sistem yapı örneği (Url-3).

Günümüzde ülkemizde gerçekleştirilen ahşap iskelet sistem uygulamaları incelendiğinde sistemin ana taşıyıcı elemanlarının prefabrikasyon ile üretildikleri, geliştirilmiş birleştirme tekniklerinin kullanıldığı, fabrika ortamında üretilen elemanların şantiyede oldukça kısa sürelerde birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiş uygulamalar olduğu görülmektedir. Sistemin kuruluş biçimi ile ilgili gelişmelere ek olarak taşıyıcı elemanlar ile bağlantı tekniklerinin de geliştirildiği bilinmektedir. Önceden çivi vb. elemanlar yardımı ile ya da ahşap geçme teknikleri ile yapılan bağlantıların yerini özel metal bağlantı elemanlarının aldığı görülmektedir (Perker, 2009).

Günümüz endüstriyel teknikleri ile ahşap iskelet sistemli bir yapı; tasarım, prefabrikasyon, nakliye, montaj ve sonlama aşamaları olmak üzere beş aşamada üretilmektedir.

- Tasarım Aşaması: Proje bazında tasarım yapılabildiği gibi değişik firmaların hazır tasarım alternatifleri olduğu da bilinmektedir. Tasarım alternatiflerinin oluşturulmasında bilgisayar desteği alınmaktadır.
- Ön Üretim Aşaması: Yapı elemanlarının kısmen ya da tamamen fabrikada üretildiği aşamadır. Üretim sırasında malzemenin uzun ömürlü olabilmesi amacıyla da fabrika ortamında çeşitli işlemler yapıldığı (emprenye vb.) bilinmektedir.
- Nakliye Aşaması: Fabrika ortamında hazırlanmış olan yapı elemanları planlı bir nakliye sistemi ile şantiye ortamına taşınmaktadır.
- Montaj Aşaması: Döşemeler, zemin katta çoğunlukla tesviye edilmiş subasman betonu üzerine, özel bağlantı elemanları yardımı ile tespit edilmekte, ardından iskelet sistemi oluşturan elemanların montajı gerçekleştirilmektedir. Sistemde pencere ve kapı boşlukları açılmış olan paneller iskeletin iç ve dış yüzlerine monte edilmekte ve yalıtım (ısı, ses, su vb.) uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

- Sonlama Aşaması: Yapının çatı ve dış cephe kaplamaları ile yapı içi döşeme-duvar ve tavan kaplamaları yapılmakta, tesisat donanımları ile birden fazla katlı yapılarda merdiven uygulaması yapılarak üretim tamamlanmaktadır (Togay 2002).

2.3. GÜNÜMÜZDEKİ İLERİ TEKNOLOJİ AHŞAP SİSTEMLER

Tasarım aşamasından itibaren tüm üretim aşamalarının planlandığı, şantiyede iş gücü ve çalışma süresinin en aza indirilmesinin amaçlandığı, ileri teknoloji ve endüstrileşmiş üretim süreçlerinin bir arada kullanıldığı, günümüzde sanayide gelişmiş olarak nitelendirilebilecek ülkelerin kullanmakta oldukları üretim tekniğidir. Yapıma ilişkin tüm malzeme girdi ve süreçlerinin (tasarım, bileşen üretimi, nakliye, montaj vb.) endüstrileştiği üretim tekniğinde makine ve organizasyon yoğunluğu oldukça fazladır. Söz konusu teknik, yapı alanında endüstrileşme, makineleşme, rasyonalizasyon ve prefabrikasyon kurallarının uygulanması esasına dayanmaktadır. Endüstrileşmiş üretimin temel özellikleri; kesintisiz (sürekli) üretim, iş bölümü, işlemlerin sıralanması, tekrarlanan işlemlerde uzmanlaşma, standartlaştırma, kaynak israfının azalması, makineleşme, yönetim işlevlerinin yerine getirilmesi olarak sıralanabilmektedir (Kaya, 1997).

Endüstrileşme, üretim faaliyetinin gelişmişlik seviyesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Yapı alanında endüstrileşmiş üretim için karşımıza çıkan alan ise prefabrikasyondur. Prefabrikasyon (ön üretim) yapıyı oluşturan, yapı elemanlarının hepsinin ya da bir kısmının önceden atölyelerde veya fabrikalarda üretilerek yapım yerine getirilmesi ve yapım yerinde birleştirilerek yapının monte edilmesi ile oluşan yapım yöntemidir.

Yapı üretiminde prefabrikasyonun avantajlı yönleri;

Optimal boyutlandırma ve üretim ile malzeme, işçilik gibi unsurlar açısından tasarruf sağlanması,

Teknolojik yapı ve olanaklar sayesinde üretim süresinin kısılması,

Sistemin fabrika ortamında denenmesi ve sonuçların analiz edilmesi olanağına bağlı olarak yapımın sorunsuz gerçekleştirilebilmesi,

Şantiyede geçen sürenin kısa olması nedeniyle kontrol dışı işlemlerin sınırlandırılması, üretim aşamasında oluşabilecek kusurların en aza indirilmesi,

Mühendislik çözümlerinin kolaylıkla yapılabilmesi nedeniyle tasarım esnekliği sağlanması,

Ön üretimi gerçekleştirilen elemanların standartlara uygunluğunun sağlanabilmesi,

Zamanın kontrol edilebilmesi olanağına bağlı olarak etkin ve verimli kaynak kullanımının gerçekleştirilmesi,

Demonte tekniklerin uygulanabilmesi nedeniyle yapının gerektiğinde sökülebilmesi ve başka bir yere taşınabilmesi şeklinde sıralanabilmektedir (Togay 2002).

Yapı yüksekliğinin artması ahşap yapı sisteminin gelişmesi ile orantılıdır. Endüstriyel imkanların sağladığı avantajla beraber ahşabın prefabrikasyonu ile yapım alanında oluşabilecek yapı sorunları en aza indirgenmektedir. Böylece yapı elemanları hızlı kurularak kısa sürede yapı üretimi yapılmaktadır.

Uygulanmasına devam edilen ahşap yapım tekniklerini 7 başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar;

1. Dikmeli ve Kirişli İskelet Sistemler (Post and Beam Construction)
2. Balloon Çerçeve sistemler (Balloon Frame)
3. Platform Çerçeve Sistemler (Platform Frame)
4. Panel Sistemler
5. Modifiye Çerçeve Sistemler (Modified Construction)
6. Volumetrik Hacimsel Sistemler (Volumetric Construction)
7. Karma Sistemler

2.3.1. Ahşap Dikmeli ve Kirişli İskelet Sistemler

Ahşap Dikmeli ve Kirişli Sistemler, ahşap dikme ve kirişler kullanılarak büyük açıklıkların geçilebilmesini ve farklı ölçülerdeki mekanların bir bütün halinde üretimini sağlamaktadır. Bu sistemde taşıyıcı elemanlar, dikmeler ve kirişlerdir. Dikme ve kirişlerin belirli bir aralıkta yerleştirilerek ızgara şeklinde dizilmesi ile oluşturulan bir iskelet yapım sistemidir. Dikme aralıkları; yapının oluşumuna, yapıda kullanılan döşeme sistemine ve kirişlerin türüne bağlı olarak ayarlanmaktadır.

Bu sistem kurgusunda, taşıyıcı olan veya olmayan yatay, düşey veya çapraz elemanların bir noktada veya düğüm noktasında birleştirilme şekillerine göre taşıyıcı sistem farklı şekillerde düzenlenebilmektedir. Bu elemanların birleştirilmesinde özel çelik bağlantı elemanları kullanılmaktadır (Avlar, 2001).

Taşıyıcı elemanların arasında bulunan duvarlar ise; dolgu, yalıtım ve mekanları oluşturan bölme işlevlerini görmektedir. Duvarlar taşıyıcı olmayan ahşap paneller ile oluşturulur. Ahşap paneller aynı zamanda çatı ve döşemedeki, çatı kirişleri ve döşeme kirişlerinin üst kısımlarının kaplanmasında da kullanılır. Sistemde yatay yüklere karşı gereken önlemlerin alınması önemlidir. Bundan dolayı, sistemi oluşturan elemanlar birbirlerine temelden itibaren çok iyi bir şekilde bağlantı elemanları ile bağlanmaktadır.

Dikmeli ve kirişli sistemlerde yapının kuruluşunda kullanılan yatay elemanların düzenlenmesine ve birleşim detaylarına göre;

- Tek tabanlı
- Çift tabanlı olarak gruplandırılmaktadır (Şekil 2-1).

Tek tabanlı sistemler, belli aralıklarla yerleştirilen dikmelerden ve bu dikmelerin üstünde yer alan kirişlerden meydana gelmektedir. Kirişlerin birbirine paralel olarak yerleştirildiği bu yapım yönteminde, sistemde bulunan diğer kirişler (döşemelerin oturtulacağı kirişler) ise bu kirişlere dik olacak bir şekilde taban üzerine yerleştirilerek kat döşemesi oluşturulmaktadır.

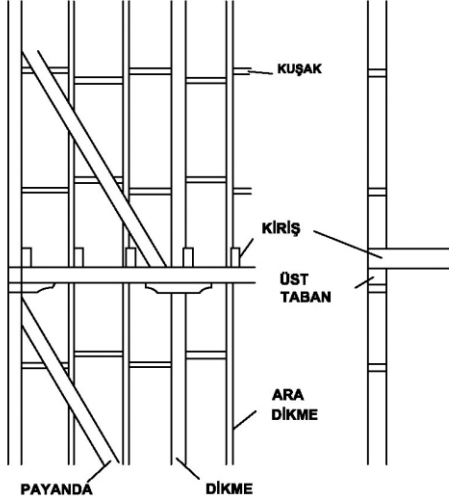
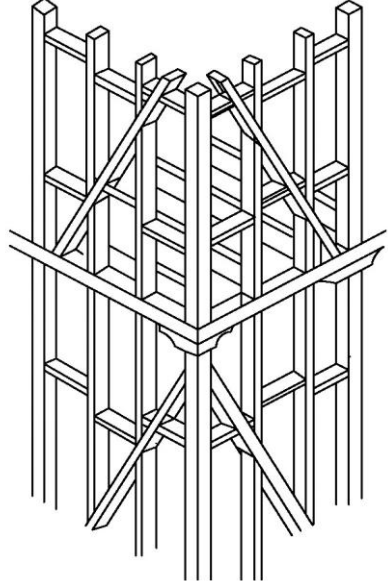
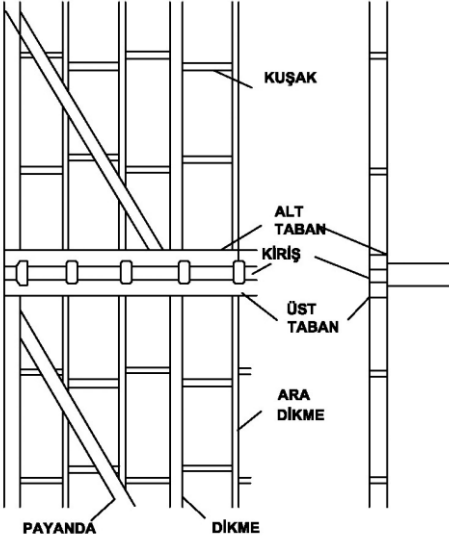
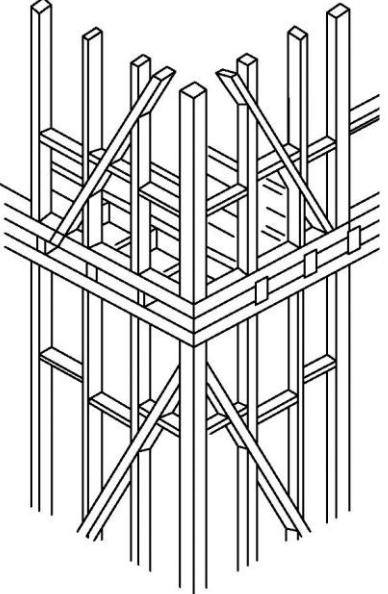
Bu yapım yönteminde dikmeler arasında düzenlenecek açıklığa göre, kiriş tipi (masif, tabakalı, makas) seçilmelidir. Diğer yöndeki açıklık döşeme kirişlerinin veya döşeme tabliyesinin geçebileceği sınırlar içinde olmalıdır. Dikme ve kirişlerin birleşim noktalarında çelik bağlantı parçaları kullanılmalıdır (Avlar, 2003).

Çift tabanlı sistemlerde ise, her katın alt taban ve üst taban elemanları ayrıdır. Alt kat dikmelerinin üzerine yerleştirilen üst taban, yapı elemanının üzerine dikmeler ile aynı aksta kirişler yerleştirilir. Bu kirişlerin üzerine döşeme panel ya da döşeme tahtaları yerleştirilebilir. Kirişlerin hemen üzerine ise hem üst katın dikmeleri için uygun bir zemin hazırlamak hem de kirişlerin stabilizesini sağlamak için alt başlık yerleştirilir. Ardından kat dikmeleri yeniden monte edilir (Ayaz, 2011).

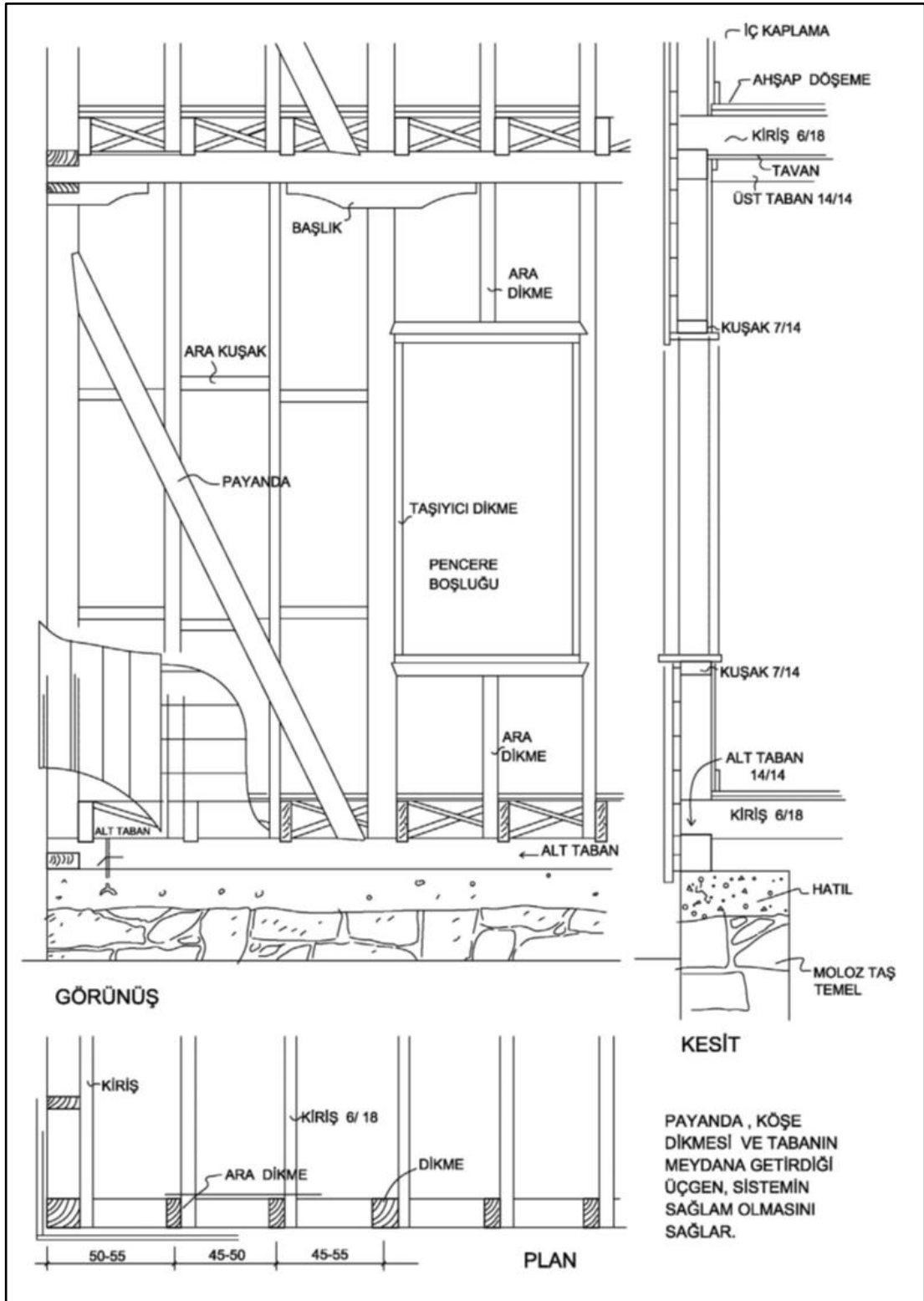
Sistemde önemli olan üst kat dikmelerinden gelen yükün alt kattaki dikmelere kirişler aracılığıyla değil, doğrudan aktarılmasının sağlanmasıdır. Bunun nedeni, ahşabın lif yönüne dik doğrultuda gelen basınca karşı yeterli dayanıma sahip olmamasıdır. Bu yöntemde, kirişler dikmelere çelik veya ahşap birleştirme elemanları ile bağlanırlar (Avlar, 2003).

Taşıyıcı sistem oluştuktan sonra boşluk kısımları dolgu malzemeleri ile doldurulur. Düşey elemanlar arasında ısı ve ses yalıtımını sağlayan malzemeler dolgu malzemesi olarak seçilmelidir. Yapının bulunduğu bölgenin iklim şartlarına ve fonksiyonuna uygun olan dış duvar kaplama malzemeleri tercih edilmelidir. Ayrıca dikmeli ve kirişli sistemlerde yapı yüksekliği arttıkça lamine ahşapta kullanılabilir. Lamine ahşabın taşıyıcılığı masif ahşaptan daha iyi olduğundan bu gibi durumlarda sistemde kullanımı daha uygun olacaktır.

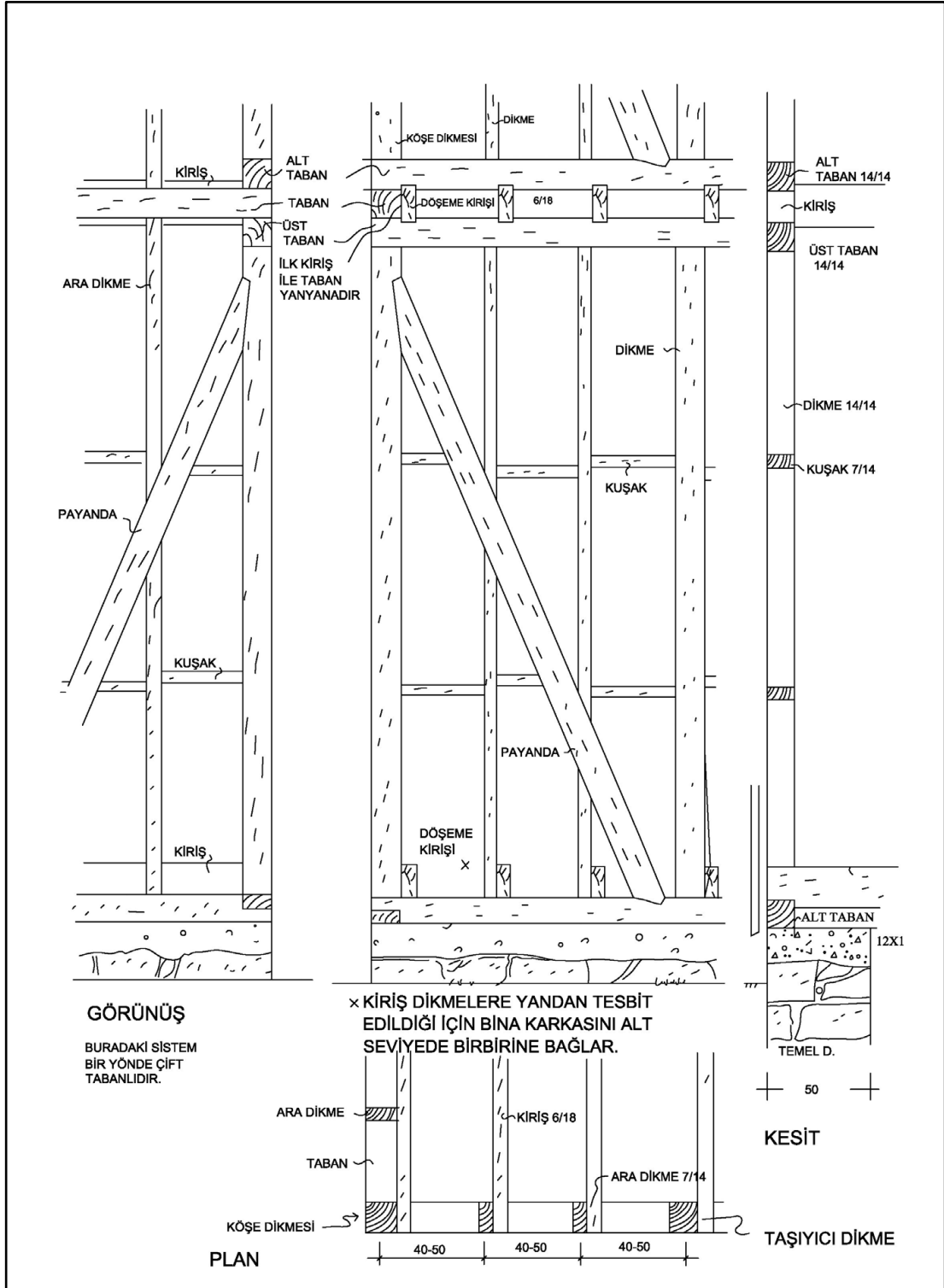
Sistemin tasarım esnekliğinin ve üretiminin hızlı olması, tadilatın uygunluğu, açıklığına göre yüksek direnç göstermesi, cephelerde kaplama malzemesi çeşitliliği gibi birçok avantajı bulunmaktadır.

Taşıyıcı Sistem	Görünüş ve Kesit	Perspektif
Tek Tabanlı	 <p>KUŞAK</p> <p>KIRIŞ</p> <p>ÜST TABAN</p> <p>ARA DİKME</p> <p>PAYANDA</p> <p>DİKME</p>	
Çift Tabanlı	 <p>KUŞAK</p> <p>ALT TABAN</p> <p>KIRIŞ</p> <p>ÜST TABAN</p> <p>ARA DİKME</p> <p>PAYANDA</p> <p>DİKME</p>	

Şekil 2-1: Tek ve Çift Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi Görünüş, Kesit ve Perspektifi (KUDEB, 2009).



Şekil 2-2: Tek Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi (KUDEB, 2009).



Şekil 2-3:Çift Tabanlı Ahşap Taşıyıcı Sistemi (KUDEB, 2009).

Dikme-Kiriş sisteminin genel tasarım prensipleri altı başlıkta açıklanabilir;

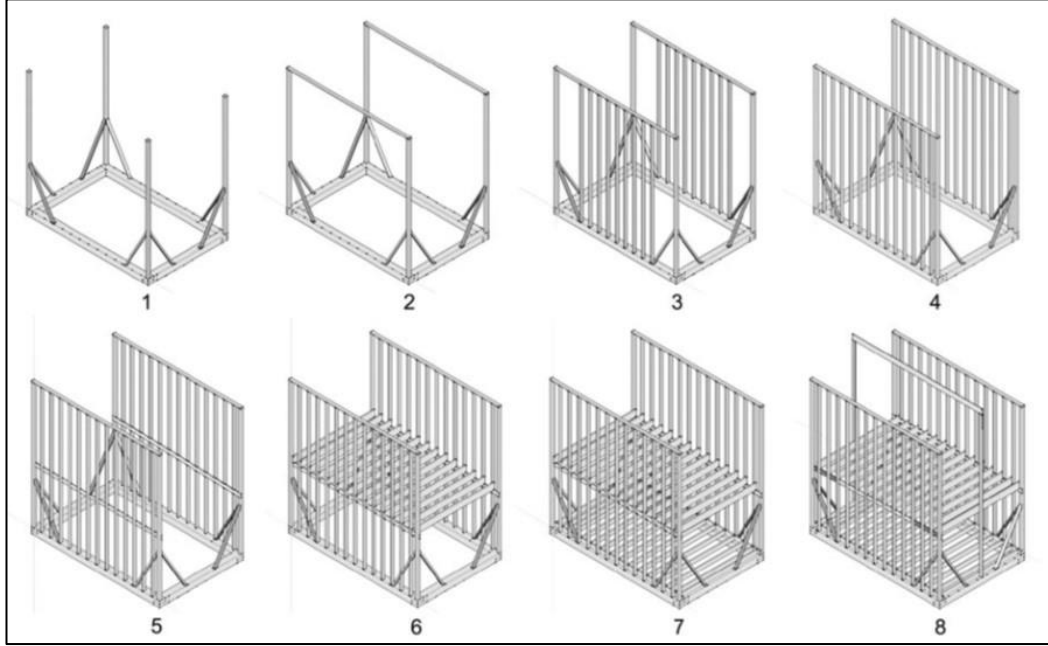
- Birinci kat döşemeyi oluşturan kirişler yapısal çerçevede süreklilik sağlaması amacıyla dikmeler ile çalışarak yerleştirilmelidir.
- Duvar panelleri bir kat yüksekliğinde uygulanmalıdır.
- Dikme ve kirişlerden oluşan bu çerçeve sisteminin çatı seviyesine kadar kurulması ve çatının da bu sistemin üzerine oturtulması mümkündür.
- Döşemeler oluşturulurken duvar panellerinde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmamaktadır.
- Döşeme strüktürü önceden oluşturulabilmektedir.
- Yatay yüklerin aktarımı, döşeme kirişleri ve dikmelerin aralarındaki tespit edilmiş plakalar veya diğer bağlantı elemanları ile yapılmaktadır (Çakır, 2000).

2.3.2. Ahşap Balloon Çerçeve Sistemler

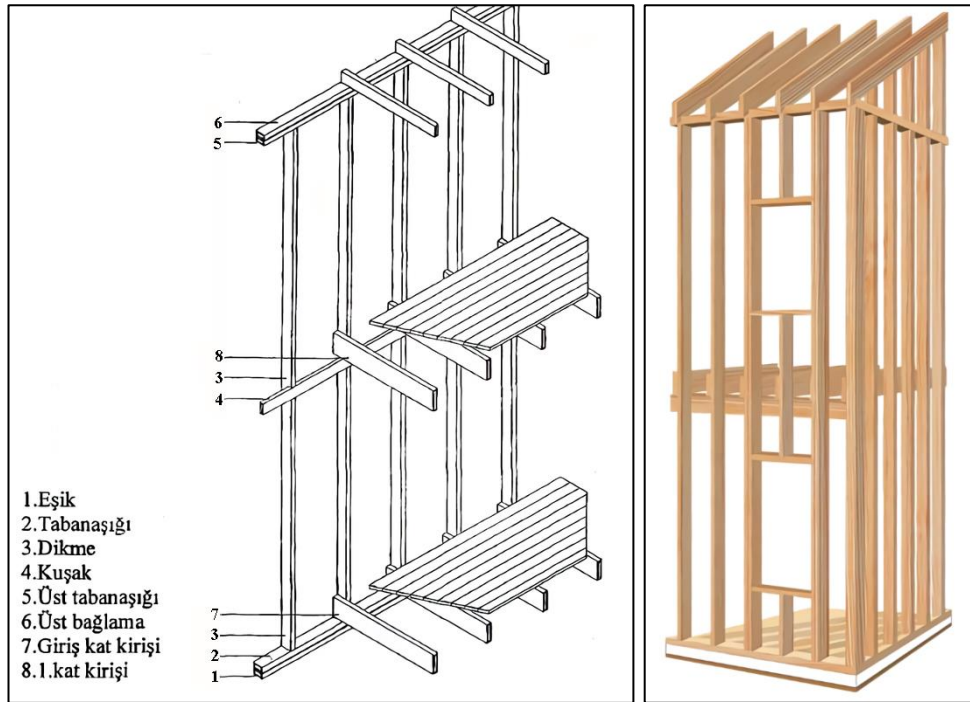
Balon çerçeve sistem, Amerika'daki kolonileşmenin ardından konut gereksiniminin artması sonucu kullanılmaya başlanan ilk hafif ahşap çerçeve sistemidir. Bu sistem, geleneksel ahşap iskelet sistem ile yapılan yapıların ağırlığının aksine daha hafiftir. Sistemin tekniğine bakıldığında balon hafifliğinde olduğu görülmüş ve sistemin ismi de buradan gelmiştir. Geleneksel ahşap iskelet sistem uğraş isteyen ve birleşimi zor bir sistemken, balon çerçeve kolay tekniklerle birleştirilen daha hızlı kurulacak bir sistemdir. Sistemin en belirgin özelliği ve diğer çerçeve sistemlerinden farkı, dikmelerin temelden çatı düzeyine kadar aralıksız bir şekilde devam etmesidir.

Balon çerçeve sistem, sık aralıklar ile dizilen ince kesit ahşap bileşenler, döşeme kirişleri, dikmeler, çatılarda mertekler yardımıyla oluşturulan bir sistemdir. Bu sistemle yapılan yapılar, ahşap dikmelerin ebatlarından ve miktarlarından dolayı genellikle az katlı yapılar için uygundur. Temel üzerindeki tabana, tavan düzeyine kadar çıkan dikmeler yerleştirilir. Kat aralarına döşeme kirişlerinin konulması ve döşeme kirişleri sırasınca dolanan kuşaklar bulunur.

Kuşaklar, dikmelerin yataydan gelebilecek olan herhangi bir yüke karşı direnç sağlaması için konulmaktadır. Ahşap elemanların birleşimi ise çivi ve bulonlar ile sağlanmaktadır.



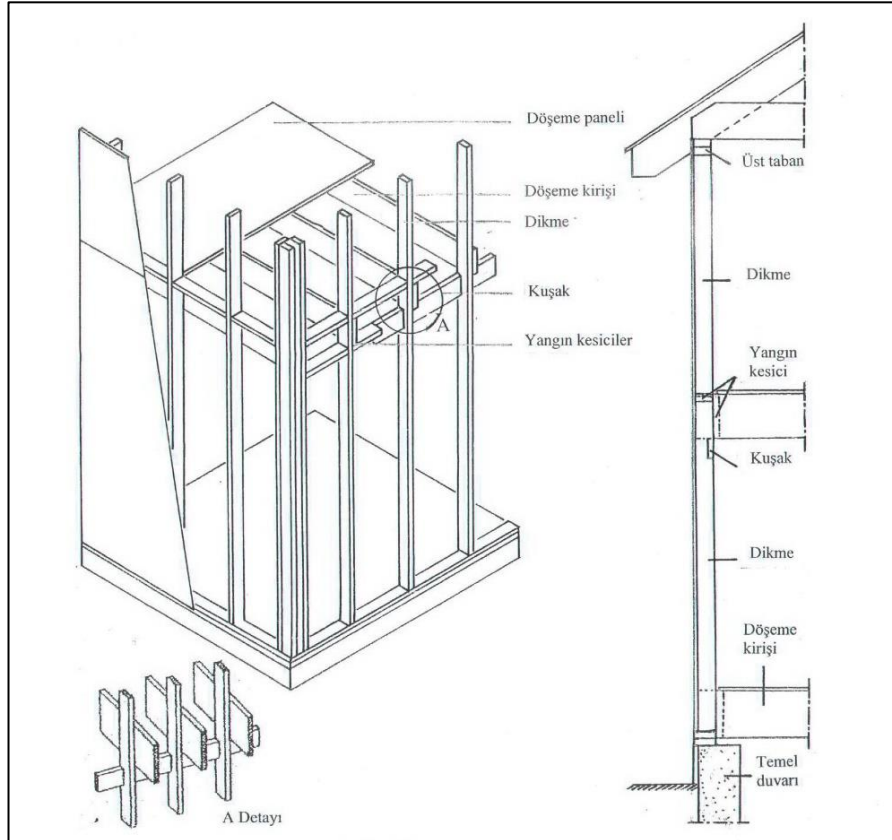
Şekil 2-4: Balon Çerçeve Sistem Kurulum Aşamaları (O'Brien, 2010).



Şekil 2-5: Balloon Çerçeve Sistem Kurulumu (TRADA), (Url- 4).

Dikmelerin uzun boyutta olmasından dolayı prefabriğe uygun olmaması, sistemdeki ahşap elemanların boyutları arttıkça montaj ve nakliyesinin uzun sürede gerçekleşmesi, kat yüksekliğince dikme kullanıldığından dolayı cephelerde tasarım esnekliğinin olmaması gibi nedenler sistemin dezavantajları olarak gösterilebilir. Bu nedenle balon çerçeve sistemi günümüzde yapı alanında yaygın olarak yapılmayan bir sistemdir. Bu sistemin yerine daha çok platform çerçeve sistemi tercih edilmektedir.

Sistemin kullanımı, dikmelerin uzunluğu sebebiyle ayağa kaldırılmasının zor olması ve aralarında meydana gelen uzun ve derin boşlukların her kat arasında yangın tutucu malzemeler yardımıyla kapatılmasına karşın, yangın anında baca gibi davranarak, alevlerin üst katlara hızlı bir şekilde yayılmasının fark edilmesiyle zaman içinde azalmıştır (Şekil 2-6), (Eren, 2004).



Şekil 2-6: Yangın Kesiciler ile İlgili Detay (Erkoç, 2004).

Baloon çerçeve sistemin genel tasarım prensipleri beş başlıkta açıklanabilir;

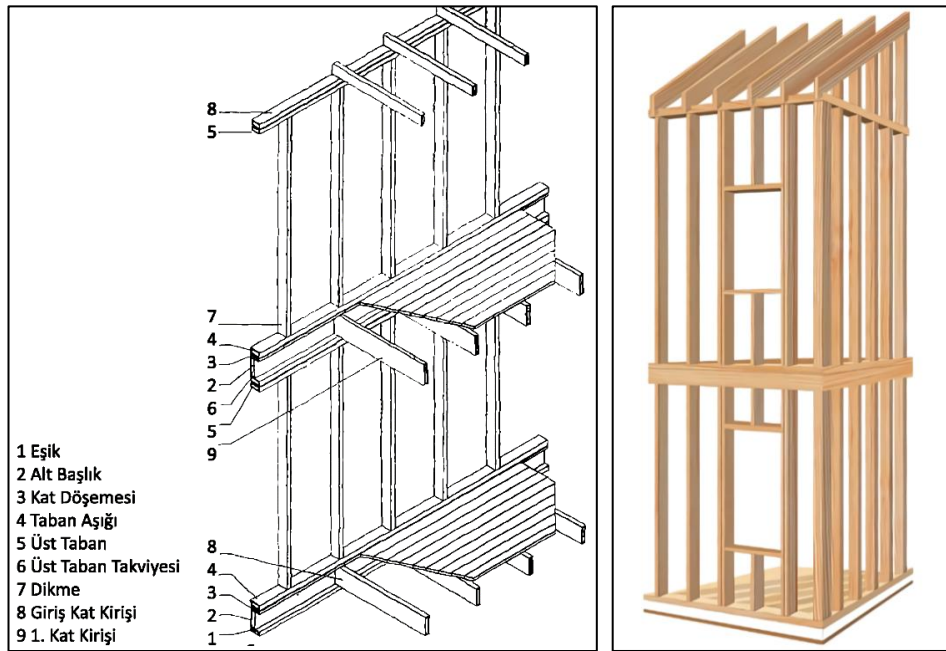
- Döşeme kirişlerinin orta doğrultuları dikmelerin orta doğrultuları ile bir eleman kalınlığı kadar sapmış olmaktadır. Bu durumda dikmelere tespit edilmiş ahşap kuşaklar yardımıyla kirişler dikmelerin kenarlarına bağlanır.
- Duvar dikmeleri küçük kesitli ve kısmen uzun bileşenlerden oluşturulur ve korunmaz. Uygulama öncesinde bu iskeletin rijitliği tek katlı iskelet sistemin rijitliğine oranla daha azdır.
- Dikmelerin sürekliliği ve dikmeler kirişlerin direk olarak bağlanması sistemin rijitliğini artırır.
- Döşeme konstrüksiyonundan bağımsız bir şekilde tek bir işlemde duvar iskelet sistemi çatı seviyesine kadar kurulmuş olur. Bu da döşemelerin uygulanmasını beklemeden çatı konstrüksiyonunun kurulabilmesi ve kaplamasının uygulanabilmesini sağlamaktadır. Fakat bu uygulamada çatı uygulamasında ve ara kat döşemesinin oluşturulmasında daha fazla oranda yapı iskelesi kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Daha uzun ve kesitleri düşük bileşenler kullanıldığında yüksek kalitede dikmelere ihtiyaç vardır (Çakır, 2000).



Resim 2-3: Balon Çerçeve Sistem Yapımı Örneği (Url-5).

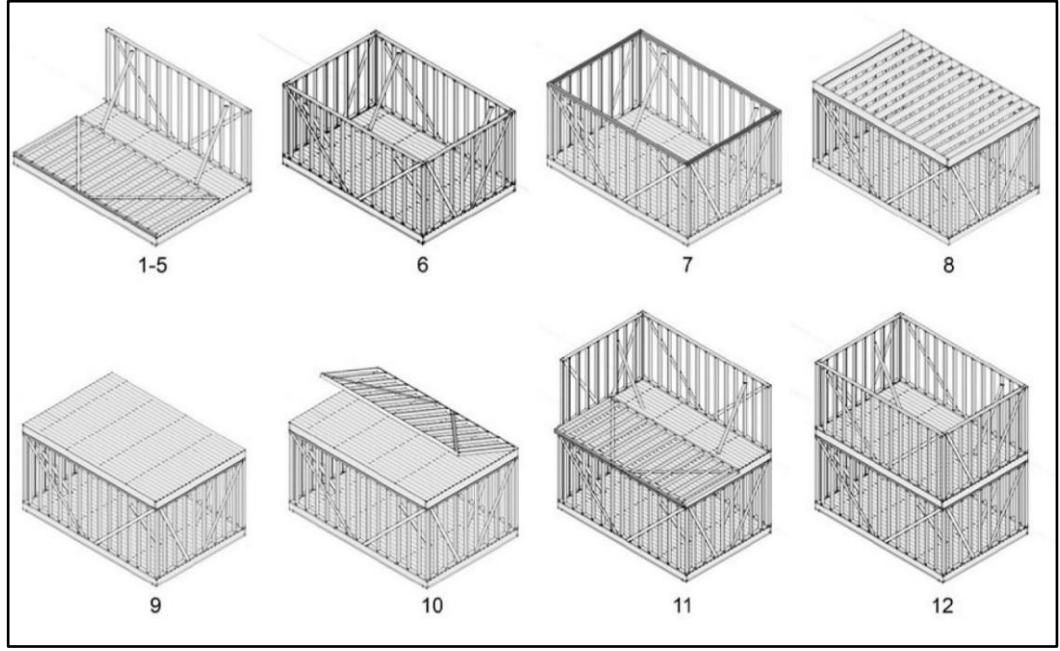
2.3.3. Ahşap Platform Çerçeve Sistemler

Platform çerçeve sistemi, yapı üretiminde sıkça kullanılan çerçeve sistemlerindedir. İngiltere, Kanada ve Amerika’ da bu sisteme oldukça sık rastlanılmaktadır. Sistem, dış duvar aksına kadar uzanan döşeme tabliyelerinin ve prefabrik olarak katların her biri için ayrı üretilen duvar çerçevelerinin, platformlar şeklinde üretilmesinden dolayı bu adı almıştır. Sistem; temel, dikmeler, platform halindeki çerçeve duvarlar ve döşemelerden oluşmaktadır (Şekil 3-7).



Şekil 2-7: Platform Çerçeve Sistem Kurulumu (TRADA), (Url- 4).

Platform sistemle yapılan yapılarda belirli bir uygulama sırası takip edilir. İlk olarak, döşeme ve duvar çerçeveleri fabrikada üretildikten sonra yapı alanına gönderilmektedir. Yapı alanında oluşturulan temel üzerine zemin katın döşeme çerçeveleri yerleştirilmektedir. Zemin kat döşemesinin işlemi bittikten sonra, zemin kat duvar çerçeveleri monte edilir. Daha sonra birinci kat döşemesi ve duvar çerçeveleri oluşturulmaktadır. Sistem yapılan her katta kendini yinelediğinden, yapılacaksa eğer diğer katlardaki döşeme ve duvar montajları da aynı şekilde gerçekleştirilir. Yalnızca son katta farklı olarak duvar çerçeveleri üzerine çatı makasları yerleştirilmektedir. Bu sistemde yapılan yapılar, ahşapların ebat ve miktarlarından dolayı genellikle iki katlı yapılmaktadır.

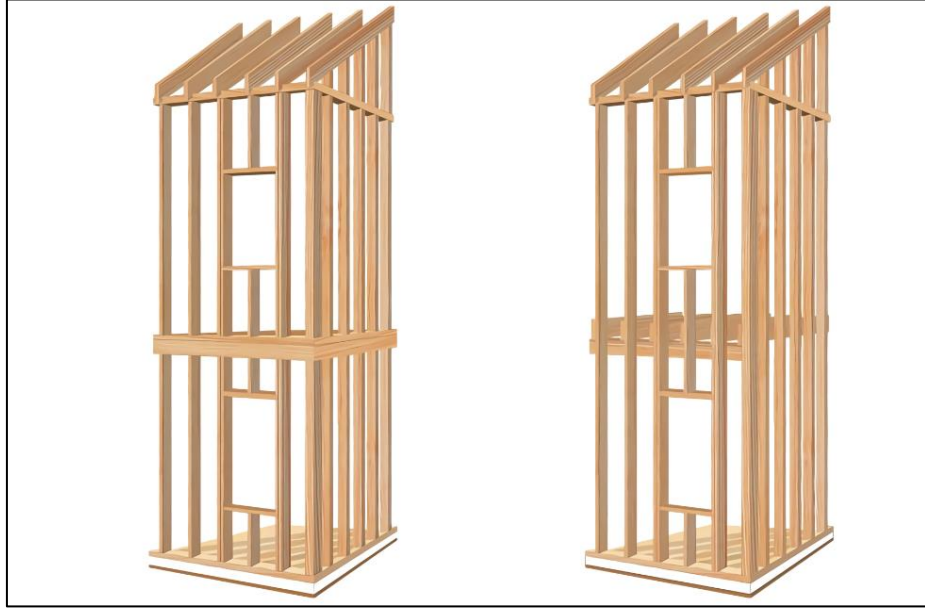


Şekil 2-8: Platform Çerçeve Sistem Kurulum Aşamaları (O'Brien, 2010).

Platform sistem aslında balon sistemin değişime uğramış halidir. Platform sistemde eşit ebatlarda olan ve eşit mesafelerle dizilen dikmeler, balon sistemindeki gibi yapı yüksekliğine kadar değil de kat yüksekliğine kadardır (Şekil 2-9). Ayrıca duvarlar balon sistemindeki duvarların aksine çerçevelerden oluşmakta ve döşemelerde duvarların dış hizasına kadar uzanmaktadır. Duvar çerçeveleri, deprem veya rüzgâr gibi, yatay dan ya da düşeyden gelen yükleri karşılayabilmek için dayanıklı ve esnek olmalıdır.

Platform sistemde taşıyıcı elemanlar balon sistemde olduğu kadar cephe tasarımına kısıtlama getirmemektedir. Cephelerde çıkma ve konsollarda yapılarak farklı cephe tasarımları da elde edilebilmektedir.

Platform sistem ile balon sistem karşılaştırıldığında; platform sistemde çerçevelerin kurulması için çok daha fazla malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Her kat seviyesinde oluşan düşey boşluklar, yangın kesici görevi görmektedir. Birbirinden bağımsız olarak kurulan döşeme platformları, duvar ve bölücü elemanların montajını yapan için uygun bir çalışma zemini oluşturmaktadır (Çakır, 2000).



Şekil 2-9: Balon ve platform çerçevelerinin karşılaştırılması (Url- 4).

Platform çerçeve sistemin genel tasarım prensipleri altı başlıkta incelenebilir;

- Döşeme kirişlerinin merkez doğrultuları dikme merkez doğrultusu ile kesişmelidir.
- Dikme boyları 1 kat yüksekliğinde olmalı ve bu dikmeler buldukları duvarları taşıyacak kesitlerde olmalıdır.
- Döşeme platformunda ahşap çalışması tüm yapı boyunca eşittir.
- Döşeme platformları duvarların tam anlamıyla kurulma aşamasından sonra kurulmalıdır. Döşeme duvardan ayrıdır ve kurulum tamamlandığında duvar panelleri döşemelerin üzerine dayanmaktadır.
- Tavan ve taban platformları tavan ve döşeme düzeyinde bir yangın direnci sağlar. Yangın engelleyici malzemeler en az 30 mm kalınlığında olmalıdır.
- Tek katlı duvar panellerinin kurulumunda orta uzunluktaki çiviler kullanılmaktadır (Çakır, 2000).

2.3.4. Ahşap Panel Bileşen Sistemler

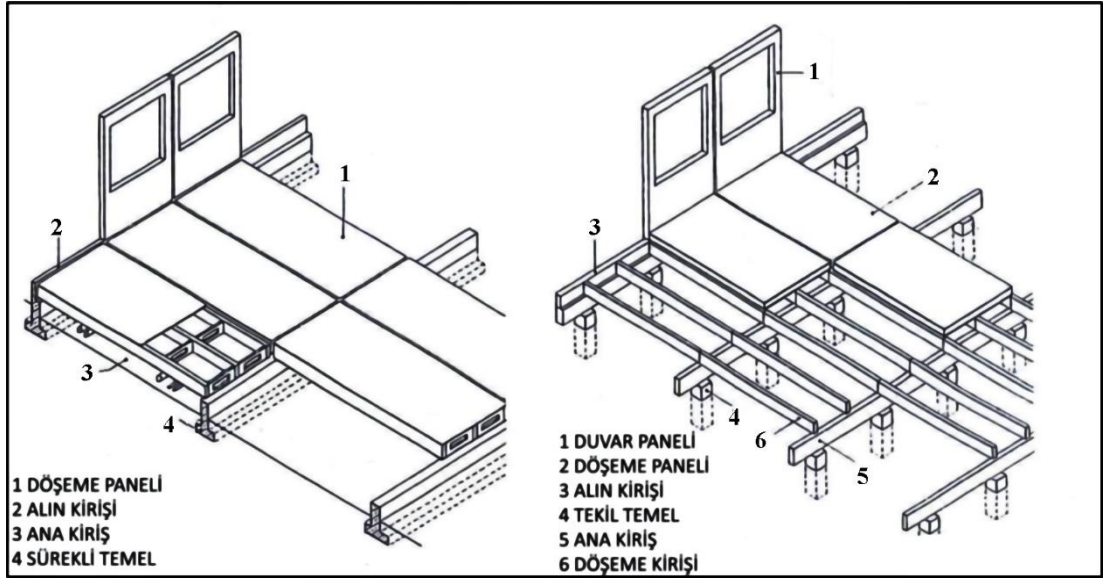
Ahşap panel bileşen sistemler, iskelet sistemine prefabrike elemanların entegrasyon uygulamaları sırasında gelişmiştir. Bu nedenle kısaca panel sistemler, hafif prefabrik teknoloji veya panellerle kaplanmış iskelet sistem olarak da açıklanabilir. Ahşap iskelet sistemden farkı; duvarlar yalnızca örtme işlevi değil, taşıyıcılık işlevi de yapar. Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında en hızlı üretilen sistemdir. Günümüzde ahşap yapıların sıkça kullanıldığı Amerika, Kuzey Avrupa, Kanada gibi ülkelerde yaygın kullanım alanı mevcuttur.

Panel istem ilk kez 1931 yılında Walter Gropius'un büyük panellerden oluşan prefabrike bir sistem geliştirerek Almanya Finow'daki Copper evlerinin duvarlarında uygulanmıştır. Sonrasında 1943-1945 yılları arasında sistem daha da gelişerek Amerika'da ilk olarak Packed House (Paket Ev) adında lisansı alınan sistem, ahşap panel sistemin temelini oluşturmuştur.

Panel ya da ünite olarak üretilmiş elemanların bir araya getirilmesi ile uygulanan ahşap yapı üretim sistemidir. Ahşap panellerin üretimi fabrika ortamında gerçekleştirilmekte, yapı alanında ise yalnızca montaj işlemleri yapılmaktadır. Böylelikle ahşap yapının oldukça kısa bir sürede tamamlanması olanaklı olmaktadır. Aynı zamanda kuru ve seri bir üretim yapılması nedeniyle de iklimsel koşulların üretimi aksatması önlenmektedir. Ahşap panel bileşen sistem sökölüp yeniden başka bir yerde monte edilebilme özelliği göstermektedir (Avlar, 2001).

Panel sistemin temel kurgusu; temel, taşıyıcı kirişler, döşeme kirişleri ve panellerden oluşmaktadır. Temel üzerine taşıyıcı ana kirişler yerleştirilir. Temel yüzeyi ve taşıyıcı kirişlerin arasına metal koruyucu eşikler konulmaktadır. Bunun nedeni nem, su ve hava sızmalarını engellemek içindir. Sonrasında taşıyıcı kirişler üzerine döşeme kirişleri, taşıyıcı kirişlere ters yönde olacak şekilde konumlandırılır. Kirişler arasına yalıtım uygulanabilmektedir. Ters yönde konumlandırılan bir kiriş ise, alın görevi görerek döşeme kirişlerinin uç kısımlarını birbirine bağlamakta ve sistemi oluşturan ahşap paneller için alt başlık görevini üstlenmektedir.

Döşeme kirişlerinin üzeri ise ahşap panellerle kaplanmaktadır. Panel sistemin çatı kısmı ise duvar panellerinin üzerine yerleştirilen çatı kirişlerinin ahşap panellerle kaplanması ile oluşmaktadır. Çatı kirişleri arasına da yalıtım malzemeleri doldurulabilmektedir. Çatıdan gelen dikey yükler duvar panelleri ile direkt zemine iletilmektedir.



Şekil 2-10: Ahşap Panel Bileşen Sistemler (Götz, 1989).



Resim 2-4: Ahşap Panel Sistem Yapımı Örneği (Url- 6).

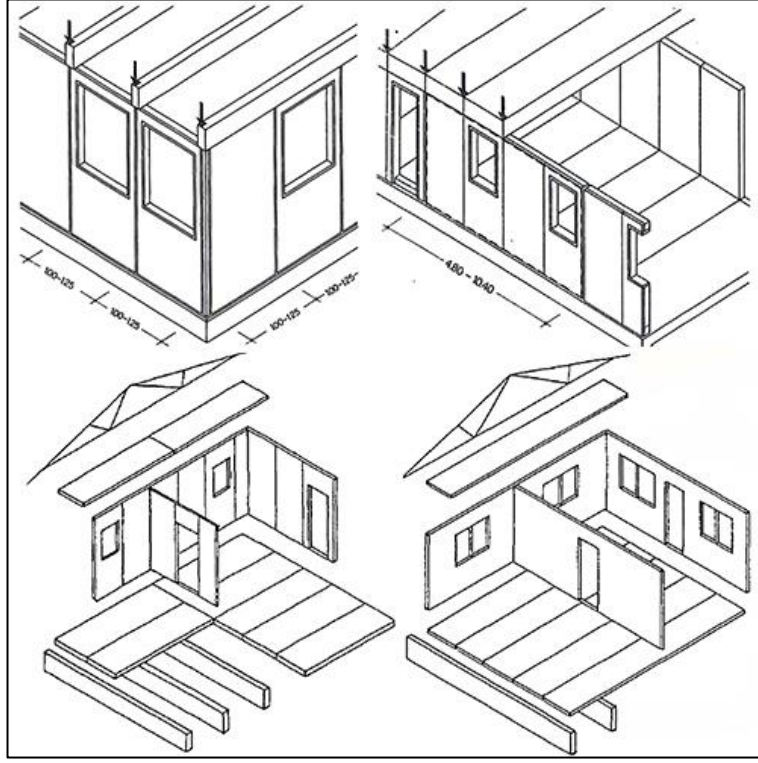
Panel sistem, kendi kendini taşıyabilen panellerden meydana gelmektedir. Sistem içindeki tüm elemanlar panellerden oluşur. Panellerin duvar süresince birleşimleri; birbirlerine doğrudan bağlanabildiği (geçme yöntemi) gibi, dikmeli birleşim yöntemi ile de bağlanabilir. Panellerin köşe birleşimlerinde dikmeler kullanılır.

Ahşap duvar panelin üzerine uygulanan kaplama ve panel içinde rijitliği sağlama amacıyla kullanılan daigonal köşebent, iskeletin sert ve bükülmez olmasını sağlamaktadır. Panel içinde kullanılan ahşap dikmeler ise dikey ağırlığı taşımaktadır. Ayrıca, sistem oluşumunda kullanılan duvar panellerinin her biri strüktür içinde ahşap dikmeler gibi görev yapmakta, yatay ve dikey yüklere karşı güçlü ve stabil duvar etkisi oluşturmaktadır. Sistem içinde kullanılan sağlamlaştırıcı metal ve çelik elemanlar ise yatay yüklerin taşınmasını sağlamaktadır (Götz, 1989).

Ahşap panel bileşenler ile yapı üretimi, ahşabın yüksek dayanım gücü, düşük ısı iletkenliği, kolay işlenebilirlik ve geniş yüzey bitirme olanakları gibi, doğal ve yapay ahşap malzemeye ilişkin kriterleri de; bir sistemin bütünü içerisinde değerlendirilme olanağı tanımaktadır (Parlar, 2000).

Ahşap panel sistemler, genellikle tek katlı ya da iki katlı yapıların inşasında kullanılmaktadır. Diğer yapıım sistemleri ile kıyaslanacak olursa; planlamadaki kısıtlamalar, yük taşıma kapasitesi ve yangın dayanımının az olmasından dolayı dezavantajları olan bir sistemdir. Diğer ahşap sistemlerle üretilen yapılara göre daha hafif ve ekonomik olması, sistem elemanlarının inşa alanına kolayca taşınabilmesi ise avantajlarıdır.

Ahşap panel elemanları, ebatlarına, uygulama biçimlerine, bir araya getirilişlerine, yük taşıyıcı olup olmamalarına göre farklı şekillerde üretilmektedir. Ahşap paneller, küçük taşıyıcı paneller, geniş taşıyıcı paneller, oda üniteleri ve taşıyıcı olmayan küçük ve geniş paneller olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2-11: Küçük ve Geniş taşıyıcı paneller (Götz, 1989- Midon, 1996).

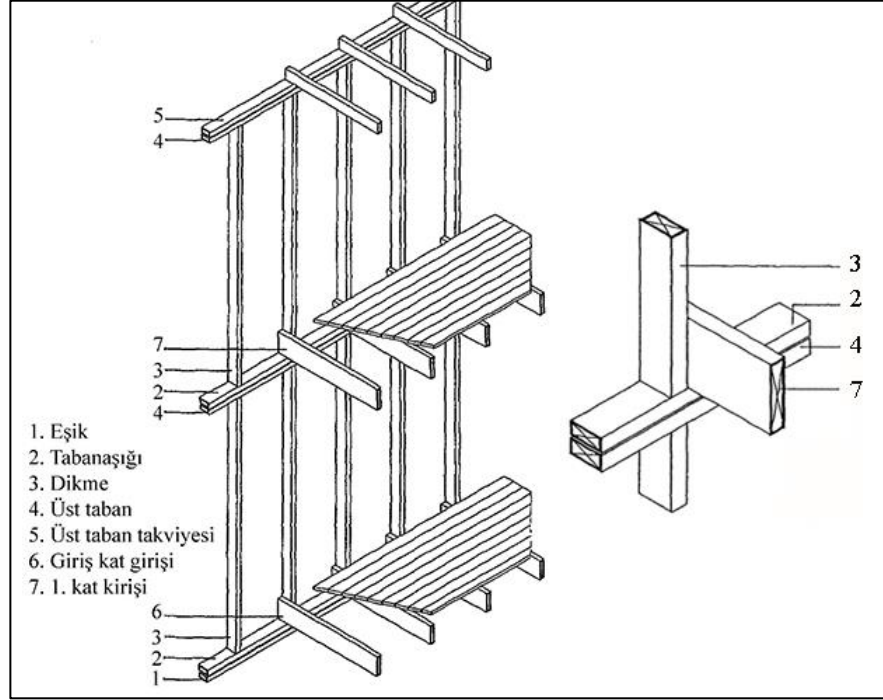
Ahşap panel bileşen sistemli bir yapının endüstrileşmiş teknik ile üretim aşamaları; tasarım, ön üretim, nakliye, montaj ve sonlama aşamaları olmak üzere toplam beş aşamadan oluşmaktadır.

- **Tasarım Aşaması:** Tasarım temelde mühendislik çözümlerini içermekte ve genellikle bilgisayar programları kullanılarak yapılmaktadır.
- **Ön Üreten Aşaması:** Yapı elemanları olan duvar, döşeme ve çatı panelleri fabrika ortamında, tüm elemanlar bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretimden (CAM) oluşan bir zincir sayesinde yüksek kalite ve boyut hassasiyeti ile üretilmektedir.
- **Nakliye Aşaması:** Fabrikada üretilen yapı elemanları sınıflandırıldıktan ve pakatlendikten sonra şantiye ortamına taşınmaktadır.
- **Montaj Aşaması:** Paneller, genellikle zemin katta tesviye edilmiş subasman betonu üzerine özel bağlantı elemanları ile sabitlenmektedir.

- Sonlama Aşaması: Panellerin montajından sonra kaplama, tesisat, merdiven vb. uygulamaları gerçekleştirilerek yapı tamamlanmaktadır (Togay, 2002).

2.3.5. Modifiye Çerçeve Sistemler

Modifiye çerçeve sistem, balloon ve platform çerçeve sistemlerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Modifiye çerçeve sistemi, bu sistemlere göre prefabrikasyon kazandırılmış ve daha güçlendirilmiş halidir. Sistem kurulumunda dikmeler bir kat yüksekliğinde olacak şekildedir. Üst duvarı oluşturan panel, birinci kat duvar panelinin üzerine doğrudan oturmaktadır (Şekil 2-12).



Şekil 2-12: Modifiye Çerçeve Sistem Kurulumu ve Nokta Detayı (TRADA).

Modifiye sistemin platform ve balloon çerçeve sistemleri ile benzerlikleri incelenirse;

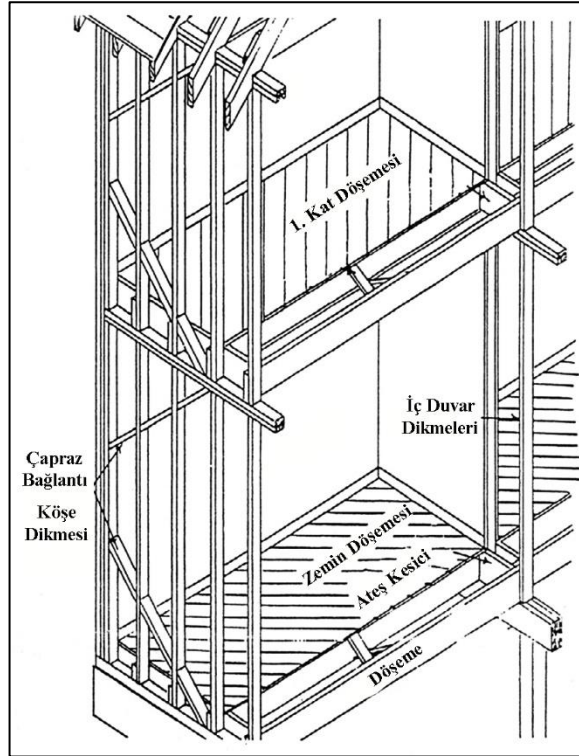
Dikmelerin kat yüksekliğinde olması ve döşeme iskeletinin zemin kat ile birinci kat panellerini birbirinden ayırması yönüyle platform sistemle benzerlik gösterirken, kirişlerin dikmelerin kenarlarına tutturulması ve bir eleman üzerine dayandırılması yönü ile de balloon sisteme benzemektedir. Ayrıca modifiye sistem,

duvar panellerinin fabrikada prefabrik olarak üretilerek inşa alanına getirilmesi yönüyle panel bileşen sistemlere de benzerlik göstermektedir.

Birinci kat duvar panellerinin ve çatı konstrüksiyonunun, yapı üretiminin ilk evrelerinde kurulabilir olması ise modifiye çerçeve sisteminin avantajlarıdır.

Modifiye çerçeve sistemin genel tasarım prensipleri dört başlıkta açıklanabilir;

- Döşeme kirişlerinin merkez çizgileri dikmelerin merkez çizgileriyle birbirinden bir eleman sarmış olabilir.
- Bir kat yüksekliğindeki duvar panelleri için uygun uzunlukta dikmeler gereklidir (Şekil 2-12) (Şekil 2-13).
- Kirişlerin dikmelere direk olarak bağlanması döşeme ve duvar birleşimlerinde rijitlik sağlar.
- Duvar çerçeveleri döşemeye daha sonradan eklenerek çatı seviyesine kadar iki aşamada kurulur, bu da çatı konstrüksiyonunun ve kaplamaların daha erken tamamlanmasını sağlar. (Çakır, 2000)



Şekil 2-13: Modifiye Çerçeve Sistem (Ayaz, 2011).

2.3.6. Volumetrik Hacimsel Sistemler

Volumetrik hacimsel sistemler, yapı alt bileşenlerinin hücre birimlerinden oluştuğu sistemlerdir. Yapı, alt bileşenlerinin ünite şeklinde fabrikalarda üretimi tamamlandıktan sonra şantiyeye nakledilerek ünitelerin bir bütün halinde yapıdaki yerlerine monte edilmesi ile oluşturulan ileri teknoloji sistemlerden biridir.

Şantiye sahasında montajı tamamlanan hacimlerin birbiri ile detaylandırıp tüm tesisat bağlantılarının tamamlaması ile son kullanıcıya hazır hale getirilir. Bu sistemde hacimler komple taşınıp monte edildiği için her bir hacim kiriş gibi çalışmaktadır. Böylelikle zaman içinde ahşabın çalışması yapıya homojen olarak dağılmış olmaktadır (Ayaz, 2011).



Resim 2-5: Ahşap Hacimsel Modüllerin Fabrika İmalatı (Wölfl, 2016).

Volumetrik hacimsel sistem, ünitelerin fabrikada kusurları minimize edilip üretilmesine rağmen nakliyedeki ve kuruluş aşamalarındaki zorluklar sebebiyle çok fazla kullanılmamaktadır. Hacim ebatlarının nakliye aracının taşıma kapasiteleri ile sınırlı olması, mekânların boyut sıkıntısı sebebiyle esnek mekân oluşturulamaması sistemin dezavantajlarıdır. Sistemin avantajlarına ise, yüksek kalite kontrolü, ilerleyen zamanla yapıda oluşabilecek kayıpların minimize edilmesi ve en önemlisi de imalat süresinin çok kısa olması gösterilebilir.



Resim 2-6: Şantiye Sahasında Bir Modülün İstiflenmesi (Littman, 2017).

Volumetrik hacimsel sistemle yapılan ahşap bir yapının endüstrileşmiş teknik ile üretim aşamaları; tasarım aşaması, ön üretim aşaması (prefabrikasyon), nakliye aşaması, montaj ve sonlama aşamaları olmak üzere beş aşamada tamamlanmaktadır.

- **Tasarım Aşaması:** Tasarım temelde mühendislik çözümlerini içermekte ve genellikle bilgisayar programları kullanılarak yapılmaktadır.
- **Ön Üretim Aşaması:** Yapı üniteleri fabrika ortamında, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretimden (CAM) oluşan bir zincir sayesinde yüksek kalite ve boyut hassasiyeti ile üretilmektedir.
- **Nakliye Aşaması:** Fabrikada üretilen hücreler şantiye ortamına taşınmaktadır.
- **Montaj Aşaması:** Yapı alanında temel inşa edilmekte ve hemen ardından hücrelerin montajı vinçler yardımı ile gerçekleştirilmektedir.
- **Sonlama Aşaması:** Hücrelerin montajından sonra ince yapı uygulamaları gerçekleştirilerek yapı tamamlanmaktadır (Öztank, 2004).



Resim 2-7: Volumetrik Hacimsel Sistemle Yapılan Yapı Örneği (Url-7).

2.3.7. Karma Sistemler

Karma sistem, bir yapıda iki veya daha fazla yapım sisteminin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Ahşap çerçeve, dikme-kiriş ve panel sistemlerden en az ikisinin karma olarak kullanılması ile oluşturulan yapım sistemidir. Sistemin farklı alternatif kullanımları mevcuttur. Karma sistemle yapılan bir yapıda, hem kullanılan her bir sistemin üretim süreçlerini içermesi hem de söz konusu olan sistemlerin bir araya gelişlerinde farklı kurgu ve detaylar kullanılması gerekmektedir.

2.4. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahşap yapı üretimi, 19.yy'a dek dönemin mevcut imkânları gereğince geleneksel yöntemler ile yapılmıştır. Daha sonra sanayi devrimi ile başlayan endüstrileşmenin sağladığı çalışma imkânları, kente göçlerin başlamasına ve kentlerde nüfus artışına sebep olmuştur. Kentlerde hızla artan nüfus sonucu barınma ihtiyacı arttığından dolayı konut yetersizliği oluşmuştur. Oluşan konut ihtiyacı ise konut üretiminde rasyonelleşmeyi gerekli hale getirmiştir. İhtiyaçları karşılamada geleneksel yapım yöntemleri yetersiz olunca, kısa zamanda ve ekonomik olan konut

üretimi için yeni üretim sistemleri arayışına gidilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaçlara yönelik yapı üretiminde kullanılan yapı malzemeleri ve yeni yapım sistemleri geliştirilmeye başlamıştır. Birçok malzemede olduğu gibi ahşap malzemede de gelişmeler olmuştur.

Nüfusun hızla artması, malzeme çeşitliliğinin artması, teknolojik gelişmeler vb. ortaya çıkan durumlara paralel olarak yapı alanı da endüstrileşme sürecine girmiştir. Bu durum sonucunda seri üretime uygun, fonksiyonel sistemler belirginleşmeye başlamıştır. Bu nedenden dolayı günümüzde, ilkel ve geleneksel üretim yöntemleri önemini yitirmiş endüstriyel yapım teknikleri önem kazanmıştır. Endüstrileşen üretimin özelliklerine ise; sürekli bir üretimin olması, iş tanımının olması ve uygun iş bölümünün yapılması, standartlaşma, doğru işgücü ve ekipman kullanımıyla iş kaybının azaltılması, yönetim görevlerinin yapılması vb. bunun gibi birçok özellik söylenebilir.

Artık günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak ahşap malzemelerin ve ahşap yapıların genel sorunlarına çözümler getirilerek, her türlü ihtiyaca uygun ahşap konut üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca, yaşanmakta olan çevre ve enerji sorunlarıyla birlikte kaynağını yenileyebilen bir yapı malzemesi olarak ahşabın öneminin artması, ahşap yapı sektörünün gittikçe endüstrileşmesi ve ahşap konut üretim yoğunluğunun artması bu süreci hızlandırmıştır. Müstakil evler, ikiz evler ve sıra evlerin yanında çok katlı konutlar ve konut dışı yapılar da ahşap malzeme ile üretilebilmektedirler. Günümüzde Avrupa ülkelerine bakıldığında ahşap konut üretiminin yaygınlaşarak devam ettiği, özellikle İskandinav ülkelerinde genel konut üretimi içinde ahşap konut üretiminde bir yoğunluk olduğu görülmektedir (Amann, 1997).

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımı, gelişen teknoloji ile paralel olarak artım göstermiş ve rasyonel kullanım düzeyine ulaşmıştır. Hızla ilerleyen teknolojiyle beraber ahşap, yapıların neredeyse her noktasında kullanılmaya başlanmıştır. Kanada, A.B.D., İngiltere, Almanya ve Kuzey Avrupa gibi gelişmiş ülkelerde, teknoloji imkanlarından da faydalanılarak, yeni teknik ve detaylar geliştirilerek ahşap yapı üretimindeki gelişmeler devam etmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI ELEMANLARI

Genel olarak ahşap parça, tabaka, kereste, yonga ve ahşap liflerin bağlayıcı maddeler ile çeşitli şekillerde fabrika ortamında bir araya gelmesiyle oluşan, homojen ve izotrop malzemeye endüstriyel ahşap denir. Ağaçlardan azami ölçüde yararlanmayı sağlayan endüstriyel ahşap doğal ahşaba göre daha üstün strüktürel ve statik özelliklere sahiptir (Öztank, 2004).

Endüstriyel ahşap, masif ahşaba göre günümüzdeki teknolojik gelişmelere paralel olarak yapıda istenmeyen birçok özelliği iyileştirilen ve geliştirilen bir malzemedir (yangın dayanımı ve form değiştirmesi vb. gibi). Ahşabın mukavemet ve sertlik değerleri endüstriyel ahşaplarda maksimuma çıkarılmıştır. Böylece ahşap paneller, diğer malzemelerin gereksiniminin aksine daha az destek elemana ihtiyaç duymaktadır. Burkulma, eğilme ve darbelere karşı mukavemetlidirler. Isı değişikliğinden ve su buharından kaynaklanan burkulma ve büzülmeye karşı boyutsal olarak bir deformasyon göstermezler. Bu nedenle ısı ve su buharına karşı endüstriyel ahşaplar iyi bir izolatördür. Özellikle ahşap panellerin büyük boyutlarda olmasından dolayı bağlantı noktalarının sayısı azalacağı için ses, ısı ve buhar köprülerini en aza indirmektedir. Endüstriyel ahşap elemanlar, fabrikasyon ürünler olduğundan dolayı montajı hızlı olmakta ve yapım süresi kısalmaktadır. Endüstriyel ahşap elemanlar ile çok çeşitli şekil ve kesitlerde, her tür sistem elemanı yapılabilmektedir. Geniş açıklıklı ve çok katlı yapıların yapımı ahşap yapı elemanlarının kullanımı ile olanaklı hale gelmiştir.

İşlem gören ahşap ürünler; kullanım ve işlenebilme kolaylıkları, uygun maliyeti, geri dönüştürülebilir olması ve atık ahşapların değerlendirilebilmesi, çevreye yararlı olması gibi özelliklerden dolayı giderek artan bir öneme sahip olmaktadır.

Kısaca endüstriyel ahşabın özelliklerini sıralayacak olursak eğer;

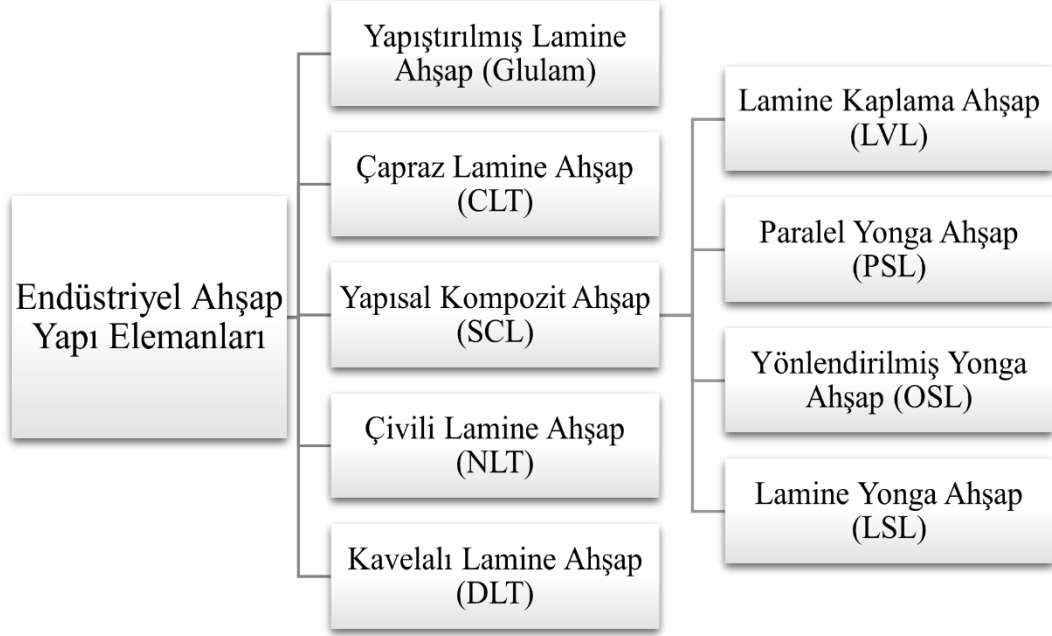
- Budak, çatlak, yarık vb. direnç azaltan kusurlardan arındırılmış,
- Gereken rutubet derecelerine kadar kurutulmuş ve tekrardan rutubetten etkilenmesi sınırlandırılmış,

- Çalışma etkisi azaltılmış ve boyutsal stabilite sağlanmış,
- Yüksek yük taşıma kapasitesi sağlanmış ve ağır konstrüksiyonlarda kullanılabilen,
- Teknolojik özelliklerindeki değişkenlikler minimize edilmiş,
- İyi bir şekilde standardize edilmiş,
- İstenen formda üretilebilen ve sınırsız boyut seçeneğine sahip,
- Yüksek katma değer sağlamış yapısal malzemelerdir (Dündar, 2019).

Endüstriyel ahşap yapı elemanları;

- Tutkallı Tabakalı Ahşap ya da Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glued Laminated Timber- Glulam),
 - Çapraz Lamine Ahşap (Cross Laminated Timber- CLT),
 - Yapısal Kompozit Ahşap (Structural Composite Lumber- SCL),
 - Lamine Kaplama Ahşap (Laminated Veneer Lumber- LVL),
 - Paralel Yonga Ahşap (Parallel Strand Lumber- PSL),
 - Yönlendirilmiş Yonga Ahşap (Oriented Strand Lumber- OSL),
 - Lamine Yonga Ahşap (Laminated Strand Lumber- LSL),
 - Çivili Lamine Ahşap (Nail Laminated Timber- NLT),
 - Kavelalı Lamine Ahşap (Dowel Laminated Timber- DLT),
- olarak sıralanabilir.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni sistemler üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Endüstriyel ahşap ürünleri projelerde birçok amaçla tercih edilmektedir. Bazısı iç tasarımda kullanılırken, bazısı taşıyıcı olmayan fakat bölücü niteliği ile yapıların pek çok bölümlerinde bulunmaktadır. Bazıları ise yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadır.

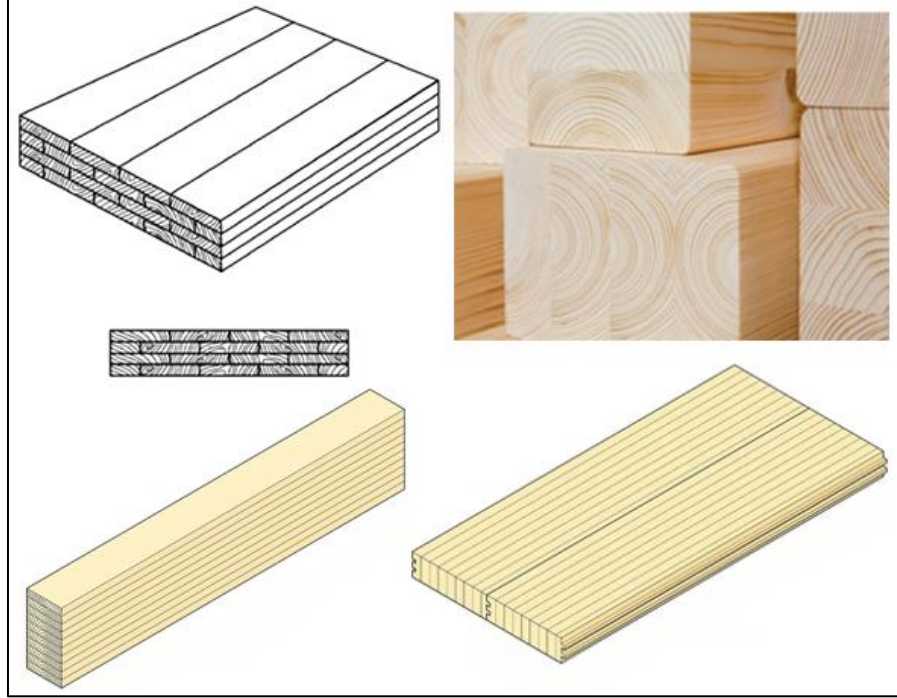


Şekil 3-1: Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması.

3.1. YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE AHŞAP / GLULAM (Glued Laminated Timber)

Glulam olarak da kısaca adlandırılan yapıştırılmış lamine ahşap veya tutkallı tabakalı ahşap, ileri teknoloji ürünü olan, birçok yapısal ve mimari alanda kullanılan önemli bir ahşaptır. Glulam, yapı teknolojisinde yeni bir ürün değildir tarihi 1860'lı yıllara kadar dayanır. İngiltere ve İskoçya'da 1835-1855 yılları arasında yapılan ilk demiryolu köprülerinin inşasında 18 m ve 36 m açıklıkta taşıyıcı kemerler olarak uygulanmıştır. Yapıda kullanımı ise 1860 yılında İngiltere'de yapılan King Edward Koleji ile başlamıştır. 1906 yılında ilk patentini Otto Hetzer almıştır. Böylece lamine ahşap teknolojisi, Otto Hetzer ile dünyada tanınarak 1901-1906 yılları arasında İsviçre ve Almanya'da; 1907-1930 yılları arasında ise tüm Avrupa'ya yayılmıştır. 1914 yılında Danimarka'da Hetzer lisansı ile, 1918'de Norveç'de, 1919'da İsviçre'de Brekke lisansı ile lamine kiriş üretimine başlanmıştır.

Glulam'ın üretimi iki çok eski tekniği bir araya getirmektedir. Bunlar; yapıştırma tekniği ve laminasyon tekniğidir. Bu nedenle, "yapıştırılmış lamine ahşap" derken ahşap liflerin birbirine paralel olarak hazırlanıp tutkal yardımıyla yapıştırılmış parçalardan oluşan bir endüstriyel ahşap üründen bahsedilmektedir. Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glulam), ayrı ahşap segmentlerin bir araya getirilmesiyle üretilen yapısal bir malzemedir. Endüstriyel yapıştırıcılarla (genellikle Melamin veya Poliüretan reçine yapıştırıcıları) yapıştırıldığında, bu tür ahşaplar oldukça mukavemetli olmaktadır. Böylelikle istenilen boyutta, kalınlıkta ve birçok formda ahşap ürün üretilebilmektedir.



Şekil 3-2: Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glulam) (Url- 8), (Url- 9).

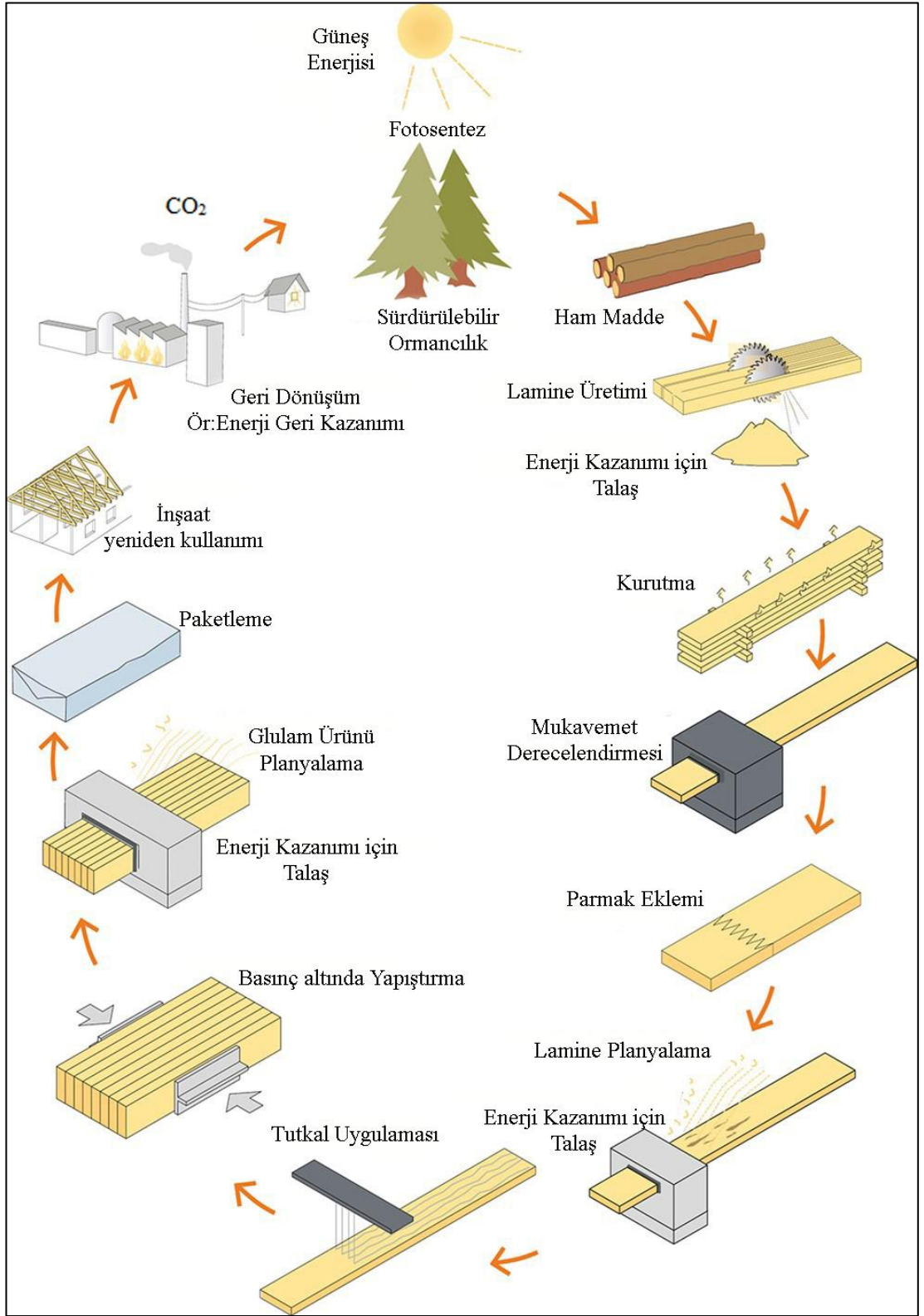
20. yüzyılın başlarında ortaya çıkan tutkallı lamine ahşap yapısal ve estetik açıdan yapım sektöründe önemli bir rol oynamıştır. Tutkallı lamine ahşap, performans özelliklerine göre özel olarak seçilmiş ve yerleştirilmiş ve daha sonra dayanımlı, nemden etkilenmeyen bir yapıştırıcı ile birbirine bağlanmış bireysel ahşap tabakalardan oluşmaktadır. Ahşap keresteler lifleri birbirlerine paralel olacak şekilde bir araya getirilerek yapıştırılır. Laminasyon yönü tüm kerestelerin uzunluğuna paralel

olarak çalışır. Bu malzeme ile döşeme kirişleri, çatı kirişleri, aşıklar, kolonlar, kafes kirişler vb elemanlar yapılabilir. Tutkallı lamine ahşap malzeme, yatay, düşey ve eğimli elemanlar olarak tasarlanarak yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılırlar. Tutkallı lamine ahşaptan yapılmış bir elemanın toplam kalınlığı yaklaşık olarak 15cm'den 180cm'e kadar yapılabilir ve 30m üzeri açıklıklar geçilebilir (Mengeloğlu, 2004).

Yapıştırılmış lamine ahşabın imalatı sırasında ahşaba yapılan işlemleri ve uygulamaları kısaca anlatacak olursak eğer;

Kesilen ahşap tabakalar, öncelikle işlenmeden ve birleştirilmeden %12 – 18 nem içeriğine kadar kontrollü bir şekilde fırında kurutma işlemi uygulandıktan sonra kesitin boyuna eksenine paralel çalışan tabakaların lifleri, basınç altında mukavemet için derecelendirilmektedir. Daha sonra ise her lamel katmanı 19-50 mm kalınlığında ve 1,5-5 m uzunluğunda ve parmak birleştirme (finger jointed) yöntemi ile birleştirilerek bir yapıştırıcı ile diğer tabakalarla yapıştırılır (Şekil 3-3).

Kenar yapıştırma işlemi, ticari olarak kama dişli birleştirmeden sonra üretilen kiriş boyutlarından daha geniş ve büyük kirişe izin vermektedir. İnce tabakalar, liflere genel olarak paralel olacak şekilde düzenlenir; su ve neme ile sıcaklığa ve biyolojik etkenlere dayanıklı, sert ve güçlü yapısal yapıştırıcılarla yapıştırılır. Birleşim işlemi, genellikle tabakaların yüzeylerine kontrollü biçimde tutkal uygulanarak gerçekleştirilir. Daha sonra uygun şekil ve büyüklükte mekanik veya hidrolik donanımlara yerleştirilirler ve tutkal hatlarına dik açılarla basınçlandırılırlar ve yapıştırıcının sertleşmesi tamamlanana kadar tutulurlar. Glulam daha sonra kesilir, şekillendirilir ve belirli koruyucu ve bitim işlemleri uygulanır (Şekil 3-3) (Porteous, 2013).



Şekil 3-3: Yapıştırılmış Lamine Ahşap İmalatı Şematik Sunumu (Url- 10).

Yapıştırılmış lamine ahşap, masif ahşaba göre daha homojen dağılımlı, daha yüksek birim mukavemetine ve yüksek mekanik niteliklere sahip olan kompozit bir malzemedir. Glulam, değişebilen kesit kalınlığı imkanları sunması, rijitliği, yüksek mukavemeti, yanma dayanımı gibi nedenlerden dolayı yapı elemanı üretimine bir hayli uygundur. Etkili yapısal elemanlar üretmek için parçalar, genellikle çelik elemanlar ve vidalarla yapılan bağlantıların yerini alabilecek kadar yüksek dirençli yapıştırıcılarla birleştirilmelidir. Yapıştırılmış Lamine Ahşap, büzülme ve şişme davranışını en aza indiren ve malzemenin boyutsal stabilitesini garanti eden optimum derecede nem ile üretilir.

Kirişlerde, sütunlarda, tavanlarda, merdivenlerde, panellerde ve kaplamalarda kullanıma uygun olan bu tür yapısal ahşabın en büyük avantajlarından biri, kirişlerde veya sütunlarda kemerli şekiller veya eğriler üretebilme kolaylığıdır. Bir başka özelliği ise, çok sayıda ağaç türü bulunduğundan, ton çeşitliliğidir. Farklı elemanlar arasındaki bağlantılar çelik konektörler ile yapılabilmektedir.



Resim 3-1: Glulam üretim aşaması (Url-8).

Yapıştırılmış Lamine Ahşap (Glulam) Avantajları;

- Sürdürülebilir: Ahşap, doğal olarak yenilenebilir bir kaynaktır. Ağaç ürünleri endüstrisi, sürdürülebilir ormancılık uygulamaları konusunda kararlıdır. Kereste ve glulam gibi ahşap mühendislik malzemelerinin işlenmesinde çok az enerji kullanır, fosil yakıtların kullanımını ve atmosferimin kirlenmesini azaltır.
- Boyut: Yüksek yük kapasitesi ve düşük ağırlığı sayesinde Glulam, küçük bileşenlerle geniş açıklıkları kaplamaya olanak tanır. Ara destek olmadan 100 metreye kadar olan bölümleri kapsayabilir.
- Direnç: Çeşitli kimyasallara başarılı bir şekilde mukavemet kazandırılır. Ayrıca deformasyonlar veya burulmalar gibi nemin neden olduğu dönüşümlere de dirençlidir.
- Esneklik: Kavisli, kemerli ve katlanmış şekiller oldukça kolay bir şekilde üretilmektedir.
- Yüksek yangın direnci: Yapıştırılmış lamine ahşaptan yapılan yapılar, yangında korumasız çelikten daha güvenlidir. Bunun nedeni, Glulam'ın çekirdeği etrafında karbonize bir katmanın oluşması, oksijen tüketimini azaltması ve yanmayı geciktirmesidir.
- Boyutsal kararlılık: Glulam, 20°C' lik bir denge nemine ve %65 bağıl neme karşılık gelen %12'lik bir neme sahiptir. Bu nedenle kasılma ve şişme davranışı en aza indirgenir.
- Daha az bağlantı ihtiyacı: Bu yapılar, ara destekler olmadan büyük açıklıkları kapatırken daha az sayıda bağlantı gerektirmektedir.
- Hafiflik: Bu özellik bakım ve montaj / demontajı kolaylaştırır. Çalışmalar, bir Glulam kirişinin aynı hacimdeki bir beton kirişle aynı dayanıma sahip olduğunu, ancak ahşap parçasının ağırlığının yaklaşık beş kat daha az olduğunu göstermektedir.

3.1.1. The Science and Modernity Dome / Cern, Geneva

2005 yılında kurulan müze, İsviçreli mimarlar Thomas Büchi ve Hervé Dessimoz tarafından tasarlanan ve alışılmadık, ikonik görünümü nedeniyle kısa sürede şehrin simgesi haline gelen yarım küre şeklindeki bir pavyonda yer almaktadır.

Başlangıçta “Palais de l'Equilibre” olarak adlandırılan pavyon, 2002 yılında Neuchâtel Gölü kıyısında Expo 2002 İsviçre ulusal sergisi için inşa edilmiş ve daha sonra 2004 yılında CERN'e taşınmıştır. Bilim ve yenilik merkezi olarak işlevlendirilmiştir. Yapı tekrar inşa edilirken orijinal formu ve strüktürü korunarak, yapının yalnızca ısı- ses yalıtımı ve elektrik tesisatı yenilenmiştir. Küre'nin koza benzeri hacmi, hem biçimsel hem de kavramsal olarak Dünya'nın şeklini çağrıştırmak için tasarlanmıştır. İnşası sırasında, yapı, dünyanın en modern sürdürülebilir mimari örneklerinden biri olarak kabul edilmiştir.

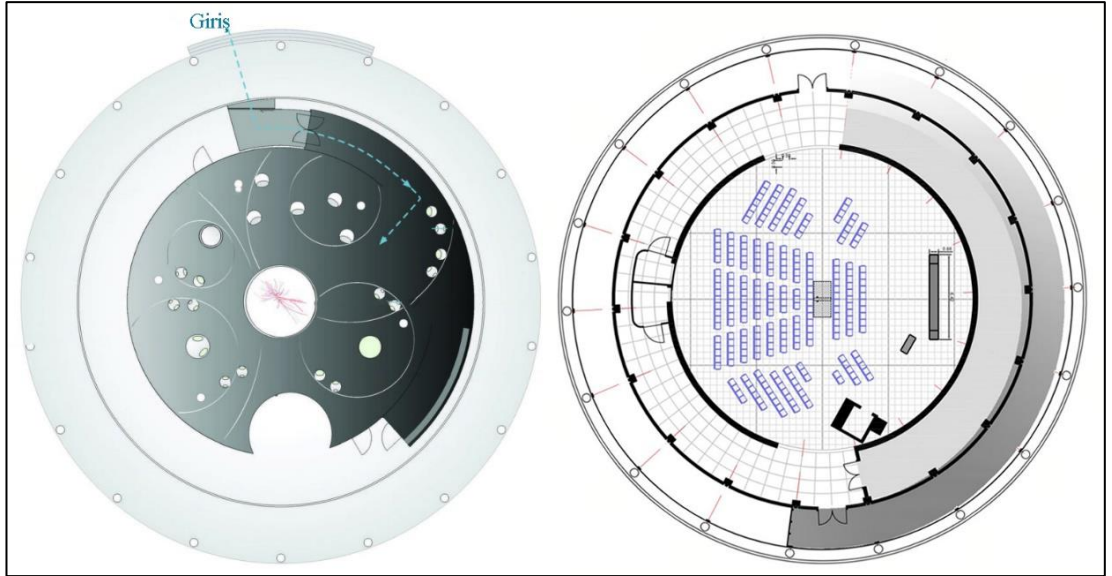


Resim 3-2: Bilim ve Yenilik Küresi Konum (TRADA, 2009).

Tamamen ahşaptan yapılmış 40 metre çapında bir küre formundaki yapı, 27 metre yüksekliği ile dünyanın en yüksek ahşap kubbeli yapısıdır. Roma'daki San Pietro Bazilikası'nın kubbe ölçüsü ile aynı olduğu belirtilmektedir. Yapı, çift kabuktan oluşur ve çift kabuklu kubbenin, neredeyse tamamen İsviçre ormanlarında elde edilen sürdürülebilir kaynaklı ahşaptan (Sarıçam, Douglas köknarı, ladin, karaçam ve Kanada akçağacı) yapılmıştır (Resim 3-4).



Resim 3-3: Bilim ve Yenilik Küresi (Url-11)



Şekil 3-4: Bilim ve Yenilik Küresi Zemin ve 1.Kat Planı (Url- 12), (Url- 13).

Bilim ve Yenilik Küresi' nin dış ve iç kabuklar arasındaki boşlukta bulunan uzun bir spiral rampa ile birbirine bağlanan iki katı vardır; zemin kat kalıcı sergi alanına (CERN'in misyonu ve buluşlarının yer aldığı sergi salonu) ev sahipliği

yaparken, birinci katta bulunan çok amaçlı salon; çeşitli ve özel etkinlikler (film gösterimleri, konferanslar, davetler, geçici sergiler) için kullanılmaktadır. Film, ışık ve ses koreografisiyle 450 m²' lik fuar alanı, sergi mekânına dönüştürülmüştür. Roma'daki Panteonun ünlü oculus' una benzeyen dairesel bir çatı penceresinden, birinci kattaki çok işlevli alana gün ışığı girmektedir (Resim 3-3).

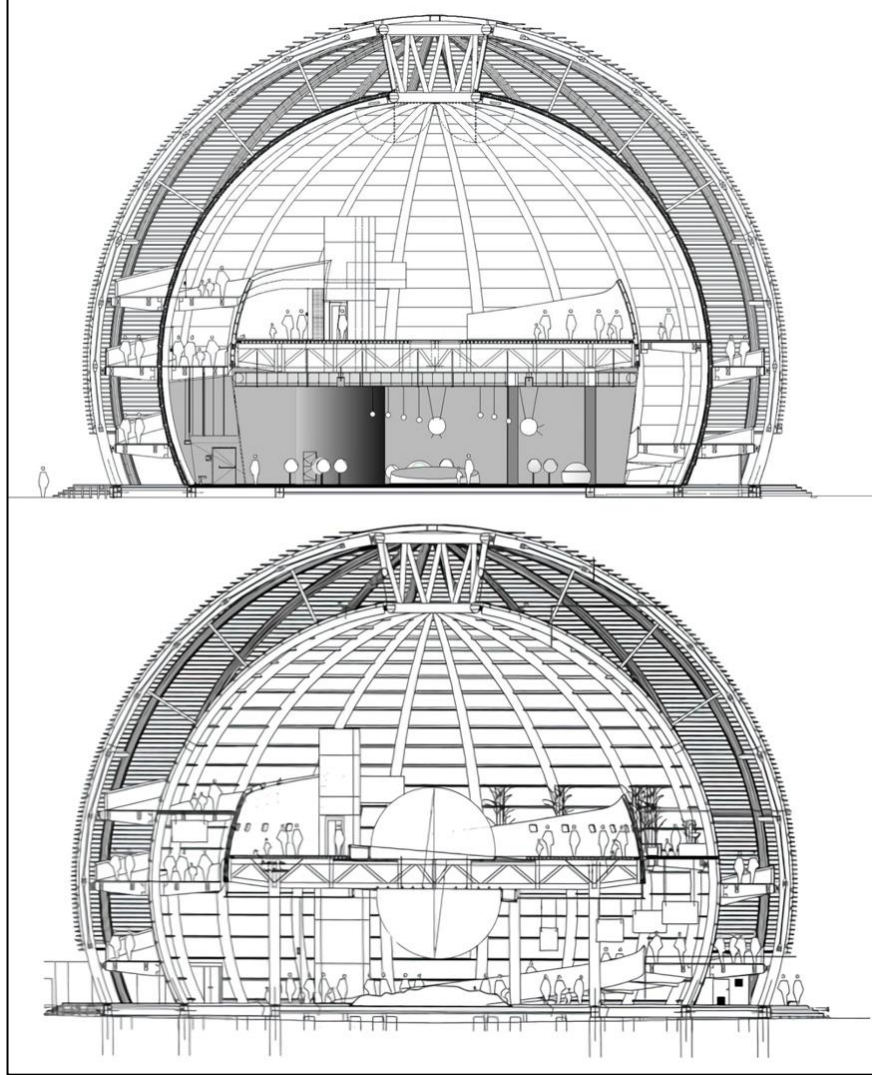
Yapıda zemin kat döşemesi oluşturulduktan sonra ahşap strüktür inşasına kubbenin en üst kotundan başlanmaktadır. Taşıyıcı ahşap elemanların montajı yapılmadan önce özel hazırlanmış geçici kule kurularak üzerine merkezî kubbe elemanı yerleştirilmekte ve daha sonra eğrisel ahşap elemanlardan oluşan taşıyıcı strüktür bu elemana çelik bağlantılarla monte edilmektedir. Merkezî kubbe elemanının çapı 6,15 metre, yüksekliği 4,50 metredir (Resim 3-5).



Resim 3-4: Bilim ve Yenilik Küresi İç ve Dış Kabuk (Url- 11).

Çift kabuktan oluşan yapıda iç kabuk, iki parçadan oluşan kare formulu 18 glulam ahşap eleman tarafından taşınmaktadır. Zemin kotundan kubbenin üst kotuna kadar devam eden bu elemanlar, üst kotta merkezî kubbe elemanının alt çemberine oturmaktadır.

Daha sonra ahşap strüktür arasına üç parçadan oluşan ön yapımlı kavisli ahşap paneller yerleştirilmektedir. Dış kabuk iki parçadan oluşan daire formu 18 eğrisel glulam eleman tarafından taşınmaktadır. Bu elemanlar üst kotta merkezî kubbe elemanının üst çemberine monte edilmektedir. Dış kabuğun stabilitesini sağlamak için ahşap kirişler ve diyagonal çelik bağlantılar kullanılmış ve kabuk üzerine ahşap panjur monte edilmiştir. Kabukların strüktürünü oluşturan ahşap elemanların arasına monte edilen bağlantı kirişleri, kabukları birbirine bağlamakta ve kabuklar arasında yer alan rampayı taşımaktadır Binada biri kabuklar arasında diğeri iç mekânda olmak üzere iki rampa bulunmaktadır (Avlar, 2017).



Şekil 3-5: Bilim ve Yenilik Küresi Kesitler (Url- 13), (TRADA, 2009).

Çoğunlukla yapının yapıldığı ahşap elemanlar, yapının Neuchâtel'den Cenevre'ye taşınmasını oldukça kolaylaştıran yapının demonte ve yeniden montajını kolaylaştırmak için tasarlanmış özel tasarımı çelik dirsekler ve ankraj cıvataları ile birbirine bağlanmıştır.



Resim 3-5: Bilim ve Yenilik Küresi Yapım Aşamaları (TRADA, 2009).

3.2. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP / CLT (Cross Laminated Timber)

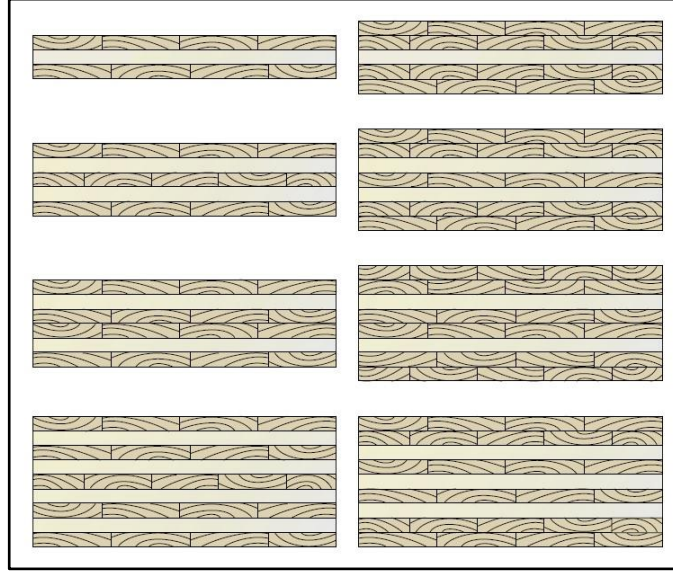
Çapraz lamine ahşabın ilk kullanımı 1990'lı yılların başlarında İsviçre'nin Zürih ve Lozan kentlerinde gelişmeye başlayan endüstriyel ahşap bir üründür. Daha sonra CLT'nin geliştirilmesi için birçok firma kendilerine özgü yöntemler kullanarak CLT üretim denemeleri yapmıştır. 1996 yılında Avusturya'da endüstri ve akademik çalışmalar ile birlikte geliştirilen çapraz lamine ahşap teknolojisinin kullanımı 2000'li yılların başından itibaren yapım sektöründe yaygınlaştığı görülmektedir. Ahşap teknolojisindeki bu gelişmeler, kısmen de sürdürülebilir yeşil bina yaklaşımının

etkisiyle Avrupa'da ahşap yapı imar yönetmeliklerinin yeniden düzenlenmesine sebebiyet vermiştir. Bunun sonucunda ise performansa dayalı yönetmelikler orta yükseklikteki yapılarda ve daha yüksek yapılarda CLT panellerinin kullanımında artışlar meydana getirmiştir.

Endüstriyel ahşap malzeme olan CLT panellerin yapısı genellikle; tek sayıda tabakalar oluşturacak şekilde 3, 5, 7 veya statik gereksinmelere bağlı olarak daha fazla tabakalı olabilmektedir (Şekil 3-7). Tabakaların yönü genelde birbirine zıt yerleştirilir. Masif ahşap elemanların lif yönleri birbirine zıt olacak şekilde (genellikle 90°) birbirlerine geniş yüzeylerinden ve bazı durumlarda dar yüzeylerinden de tutkal ile en az 0,6 N / mm² basınçla yapıştırılmış, mukavemetli, boyutsal kararlılığa sahip ve rijit elemanlardır. (Şekil 3-6) Özel durumlarda ardışık tabakalar çift tabaka oluşturacak şekilde aynı yönde yerleştirilebilir. Dış yüzeyde lif yönünde çift tabaka yapılması ya da panel iç kısmında ek çift tabaka yapılması mümkün olabilmektedir.

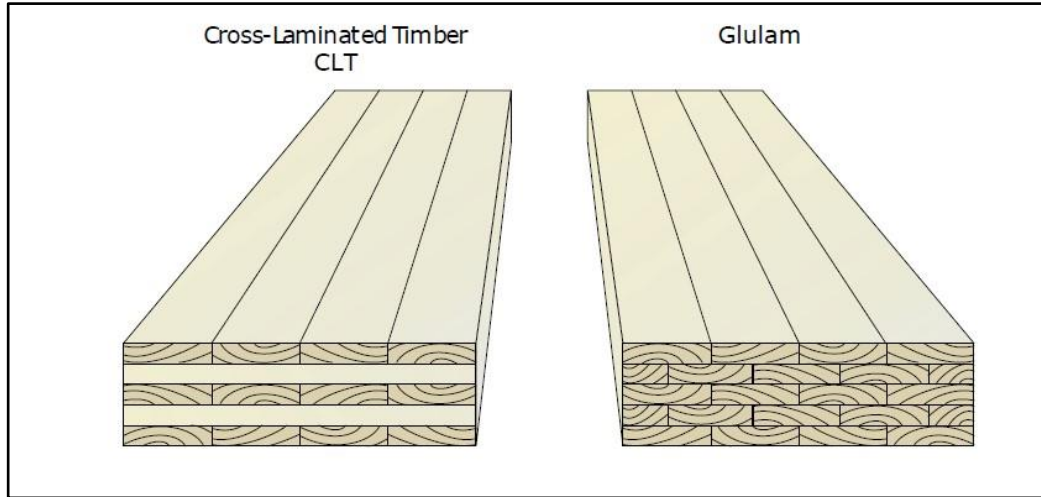


Şekil 3-6: Çapraz Lamine Ahşap (CLT) (Url- 14), (Url- 15).



Şekil 3-7: Çapraz Lamine Ahşap Panel Kesit Örnekleri (Gagnon, Pirvu, 2011).

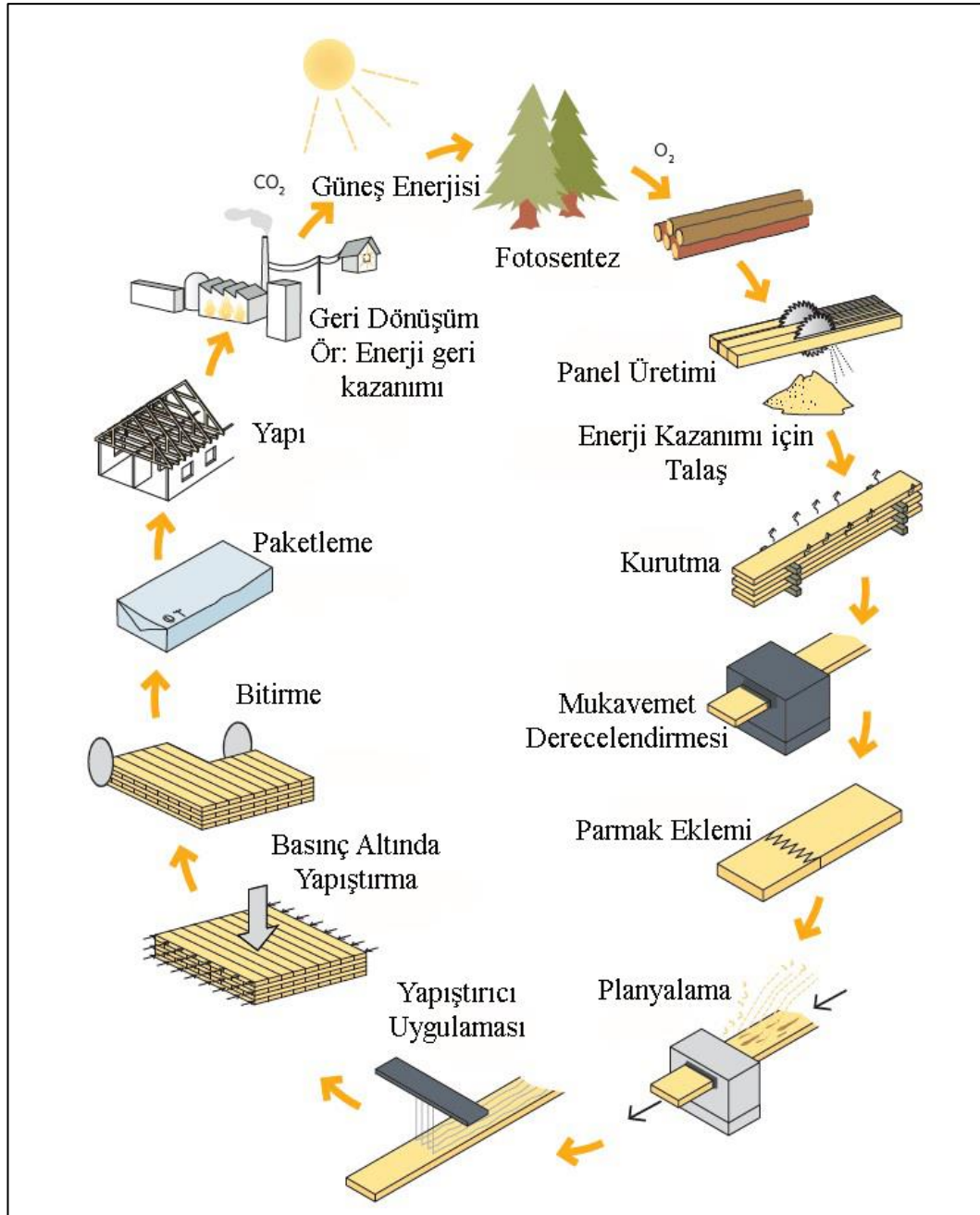
Çapraz lamine ahşabın tutkallı lamine ahşaptan farkı, tabakaların yönleri birbirine zıt olacak şekilde yerleştirilmesidir. Tutkallı lamine ahşapta keresteler lifleri birbirlerine paralel olacak şekilde bir araya getirilerek yapıştırılır.



Şekil 3-8: CLT ve Glulam Panel Karşılaştırması (Gagnon, Pirvu, 2011).

Panel boyutları üreticiye göre farklılıklar göstermektedir. Montaj işlemi ekipmana ve tutkala bağlı olarak 15 ile 60 dakika arasında sürebilmektedir. Tutkal CLT'yi oluşturan ikincil malzemedir. Kuzey Amerika'da tutkal tipleri tabakalı ahşap üretiminde kullanılan tutkalların gereksinimlerini sağlamakla birlikte poliüretan,

melamin fenolik bazlı tutkallardır. Hem yüzey hem de kenarların yapıştırılması için kullanılır. Ahşap parçalara tutkal sürülmesinin ardından hidrolik (daha yaygın) veya vakum pres panel kalınlığı ve tutkalın çeşidine göre preslenir. Birleştirilmiş panolar pürüzsüz bir yüzey için rendelenir ya da kumlanır. Paneller boyutlarına ve pencere, kapı, tesisat boşlukları ve birleşimleri için CNC (Bilgisayar Sayısal Kontrollü) yüksek hassasiyetli matkaplarla kesilir (Douglas, Karacabeyli,2013) (Şekil 3-9).



Şekil 3-9: CLT İmalatı Şematik Sunumu (The CLT Handbook, 2019).

Çapraz lamine ahşabın en önemli özelliği hafif olmasıdır. CLT paneller, nem oranı %12'ye kadar düşürülen endüstriyel ahşap şeritlerin lif boyunca uzunlamasına kesilen, şeritlerin birbirine dik olarak tutkal ile ya da perçinlenerek (ahşap, metal) oluşturduğu panellerdir. CLT paneller, 50 mm ile 600 mm arası kalınlık ve 0,6 m ile 4 m arası enleri olacak şekilde değişmektedir. Panellerin boyu ise, üreticilerin üretim alanlarına ve sevkiyat imkânlarına göre 24 m ye kadar üretilebilmektedir. Panel birleşimleri, lamalarla yapılan birleşimler ve dübel tipi gizli birleşimler olmak üzere iki şekilde de yapılmaktadır. Çapraz lamine ahşap ile oluşturulan bir duvar paneli, sismik yüklere ve rüzgâra karşı betonarme sisteme yakın değerlerde statik sonuçlar vermektedir.

Çapraz lamine ahşap kullanılarak tasarlanan yapılar;

- Sadece CLT kullanılarak yapılan yapılar,
- CLT ile birlikte diğer ahşap ürünlerinin de kullanıldığı yapılar,
- CLT ile ahşap olmayan (beton, çelik vs.) malzeme ile yapılan hibrit yapılar olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır.

Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Avantajları;

- Sürdürülebilir: CLT ile yapılan yapılar, Çelik ve betonarme yapılar ile karşılaştırıldığında daha düşük karbon emisyonuna sahip, sürdürülebilir ve yenilenebilir çevre dostu bir malzemedendir. Azaltılmış karbon etkileri ve karbon tutulması nedeniyle sera etkisinin en aza indirilmesine katkıda bulunur.
- Hafiflik: Bina yapısı geleneksel malzemelerden yapılan diğer yapılardan düşük ağırlığa sahip olduğu için, CLT ile yapılan yapılar çok hafiftir. Özellikle çok katlı binalarda depremin yıkıcı etkisine karşı yapılar hafifletilmelidir. Bu nedenle Çapraz lamine ahşap panellerin hafif olması çok önemli bir avantajdır.

- **İnşaat Hızı:** Tüm yapı sistemi kısa bir sürede tamamlanmaktadır. Çünkü çapraz lamine ahşap yapı elemanları prefabrike olduğu için kullanıma hazırdır. Montajı da oldukça kolay olmaktadır.
- **Azaltılmış atık:** Çapraz lamine ahşap bir yapı sistemi prefabrikasyon nedeniyle, inşa edilme süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Dolayısıyla bu, yüksek hassasiyet (panellerdeki açıklıklar bir CNC makinesi kullanılarak kesilir), daha hızlı tamamlama, daha fazla güvenlik, çevrede daha az bozulma ve sahada daha az atık oluşumu sağlamaktadır.
- **Maliyet:** Çapraz lamine ahşap bileşenlerin üretimi, işlenmesi ve inşa süreci boyunca ihtiyaç duyulan enerji miktarı çok az olmaktadır. Buda, CLT yapılarını inşa etmek için genel maliyetleri düşürmektedir. CLT üretmek için gereken enerji miktarı, beton üretmek için gereken enerjinin yarısı ve çelik üretmek için gereken enerjinin neredeyse %1'i kadardır.
- **Mukavemet ve Stabilite:** Ahşap katmanların dikey açılarda birleştirilmesiyle, panel için her iki yönde de kontrplağa benzer, ancak daha kalın bileşenlerle yapısal sertlik elde edilir. Bu sayede panel, büyük bir çekme ve basınç dayanımına sahiptir. CLT kararlı ve mekanik özellikleri daha az değişkendir.
- **Termal performans:** CLT panelleri, çok az yalıtım gerektiren veya hiç yalıtım gerektirmeyen izolatörlerdir. CLT panelleri hassas toleranslar için CNC ekipmanı kullanılarak üretilebildiğinden, daha sıkı oturan panel bağlantıları yapı için daha iyi enerji verimliliği sağlamaktadır. Paneller ayrıca yapıya neredeyse sıfır hava sızmasını sağlar. Bitmiş bir CLT yapısının iç sıcaklıkları, normalde gerekli olan ısıtma veya soğutma enerjisinin sadece üçte biri ile muhafaza edilebilir.
- **Yangına dayanıklılık:** Kalın bir kesite sahip olan CLT panelleri üstün yangın direnci sağlanmaktadır. Yangın anında, kütleleri yavaş yavaş yanar ve sonunda yapısındaki yanma durur. Yapısında daha az boş alan olduğundan dolayı, yangın fark edilene kadar, yayılamaz. Büyük bir yangın durumunda beton ve çelik yapılarla karşılaştırıldığında, CLT yapıları daha az bozulmaktadır.

- Nem Yönetimi ve Buhar Difüzyonu: Ahşap doğal olarak higroskopiktir ve bir bina zarfı içinde bir nem yönetim sistemi görevi görür. İdeal olarak yüzde 12 nem içeriğinde üretilen ahşabın nemi emme ve yayma kabiliyeti, iç ortamı doğal olarak stabilize edebilir. CLT binaları "nefes alır", rutubet riskini en aza indirerek ve kullanıcının konforunu sağlamaktadır.
- Yaşam Döngüsü: CLT bileşenlerinin uzun ömürlülüğü, herhangi bir yapının gelecekteki değerinin yüksek kalmasını sağlar. CLT binaları kolayca değiştirilir, yeniden şekillendirilir ve faydalı ömürlerinin sonuna ulaştıklarında tamamen geri dönüştürülebilir.
- Tasarım esnekliği: CLT, farklı ve modern projelere olanak tanıyan, tasarım esnekliğini artıran yapısal özelliklere sahiptir. Ahşabın doğal sünekliği ve mukavemet / ağırlık oranı nedeniyle, beton ve çelik gibi diğer yapı malzemelerine göre birçok avantaj sunmaktadır.
- Sismik Dayanıklılık: CLT panelleri etkili bir yanal yüke dayanıklı sistem oluşturabilmektedir. Araştırmacılar, CLT üzerinde kapsamlı sismik testler uygulamıştır ve özellikle çok katlı uygulamalarda, kalıcı deformasyon olmadan oldukça iyi performans gösterdikleri tespit edilmiştir.

3.2.1. SyneGic Office / Japonya

Japonya'nın kuzeydoğusundaki Honshu'daki Tomiya şehrinde, yapısal vida üreticisi olan "SYNEGIC Co., Ltd" nin yeni bir ofis binasıdır. Yapının öne çıkan özelliği, açık kirişlere sahip tamamen ahşaptan yapılmış devasa bir poligonal çatıya sahip olmasıdır. Yapı, Japon evlerinde kullanılan ahşap için tipik boyut olan 105 milimetre genişliğe sahip düz lamine ahşap kafesler üçgen CLT panellere bağlanarak oluşturulmuştur. Çatıda kullanılan ağır CLT paneller, zemin katta düşey yükleri taşımak için bölme duvar olarak da kullanılmıştır. İnşaatta kullanılan CLT paneller ve diğer ahşaplar yerel olarak temin edilmektedir, bu da binanın karbon ayak izini azaltmaktadır. CLT kullanımı, zaman kazandıran prefabrikasyondan

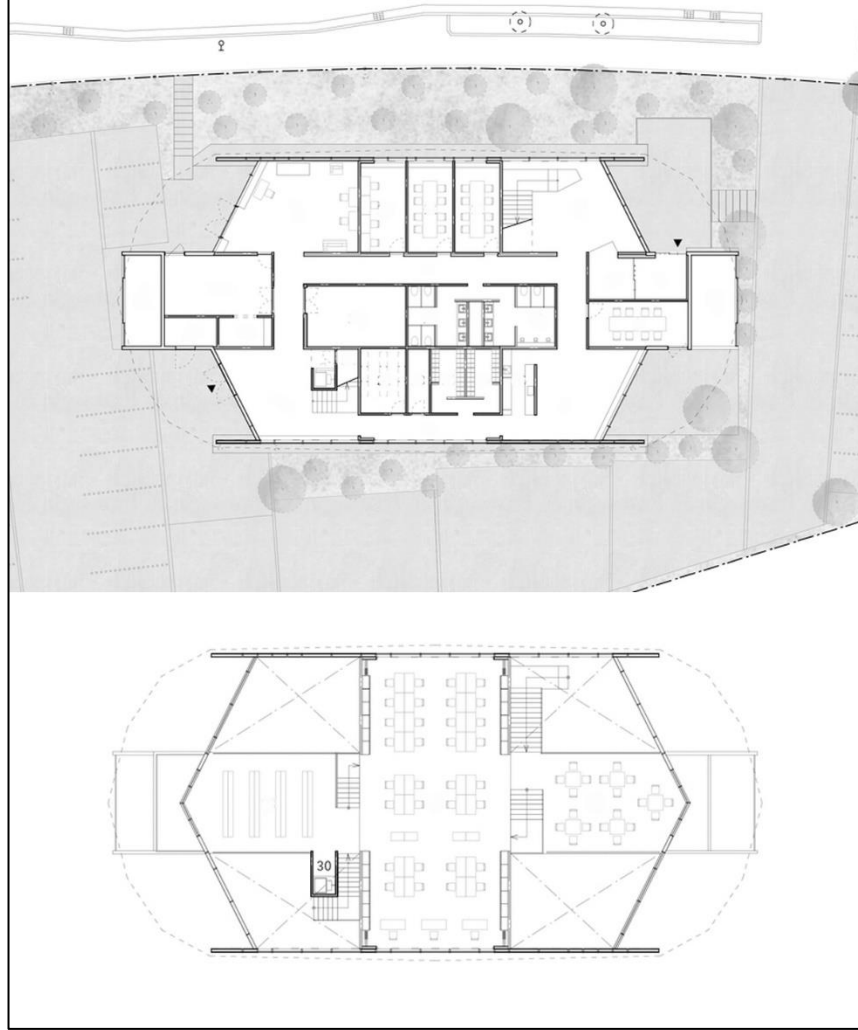
yararlanılmasına ve yerinde donanım doğramacılığında kaçınmasına olanak tanımıştır.

SYNEGIC ofis binası, 834 metrekarelik bir alanı kaplamaktadır. Altıgen şeklindeki binanın zemin katı, toplantılar, ofisler, depolar, banyolar ve teknik ekipman gibi çeşitli işlevler için bir dizi odaya bölünmektedir. Buna karşılık, haç şeklindeki ikinci katın bölme duvarları yoktur ve açık planlı bir ofis, konferans odası ve numune odası içermektedir (Şekil 3-10).



Resim 3-6: Synegic Ofis binası (Url-16).

Çatı çerçevesi, uç taraflarda dört noktada zemine temas etmekte ve içinde sütun bulunmadığından geniş bir alan yaratmaktadır. Dinamik bir çatı çerçevesindeki topografik ve hareketli zemin seviyesini takip ederek, çerçevenin yanında örtülü bir yer veya çerçevenin sürekliliğinin hissedebildiği bir yer belirtmektedir.



Şekil 3-10: Zemin Kat ve Birinci Kat Planı (Url-16).

Üç boyutlu çatı şekli, 105 mm genişliğinde lamine ahşaptan yapılmış düz makasların (bu modül Japon evlerinde en genel boyuttur) üçgen CLT panellerle birleştirilmesiyle oluşturulur. Düz kafes kirişlerin sabitlenmesi için bir CLT panelinin kullanılmasıyla, eklemlerin karmaşık bir şekilde işlenmesi ve donanımla birleştirilmesi önlenir ve fabrikada önceden kesme ve yerinde vidalı birleştirme için rasyonel bir yöntem sağlamaktadır.



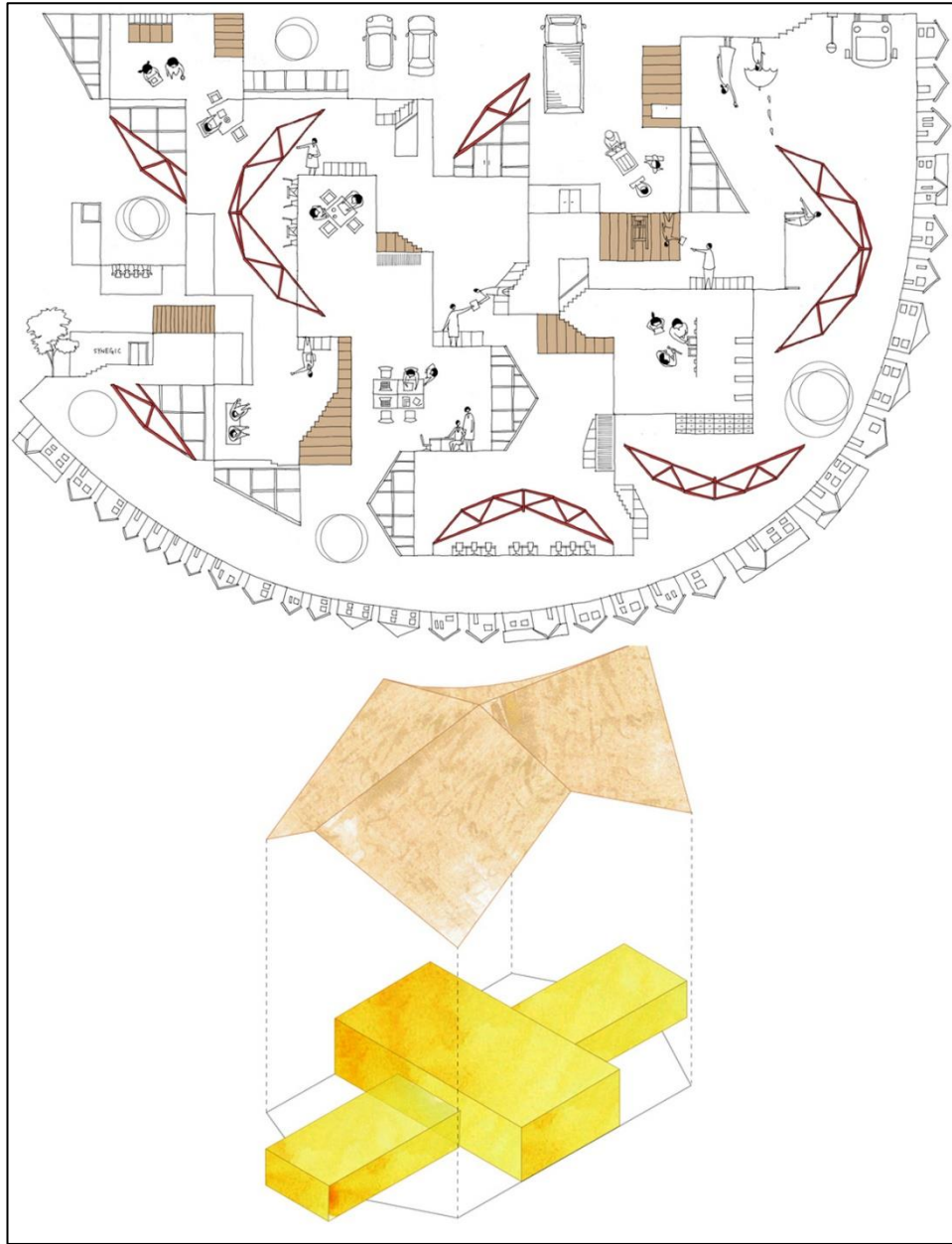
Resim 3-7: Syneqic Ofis binası İç Mekân Tasarımı (Url-16).

CLT aynı zamanda birinci katta dikey bir yük taşıyan bir bölme duvarı olarak da kullanılmaktadır. Genel CLT donanımı yerine tasarım ve işlenebilirlik göz önünde bulundurularak, atriyumda modül içermeyen ve ahşap dokuyu daha fazla vurgulayan büyük bir CLT duvarı yapılmıştır.

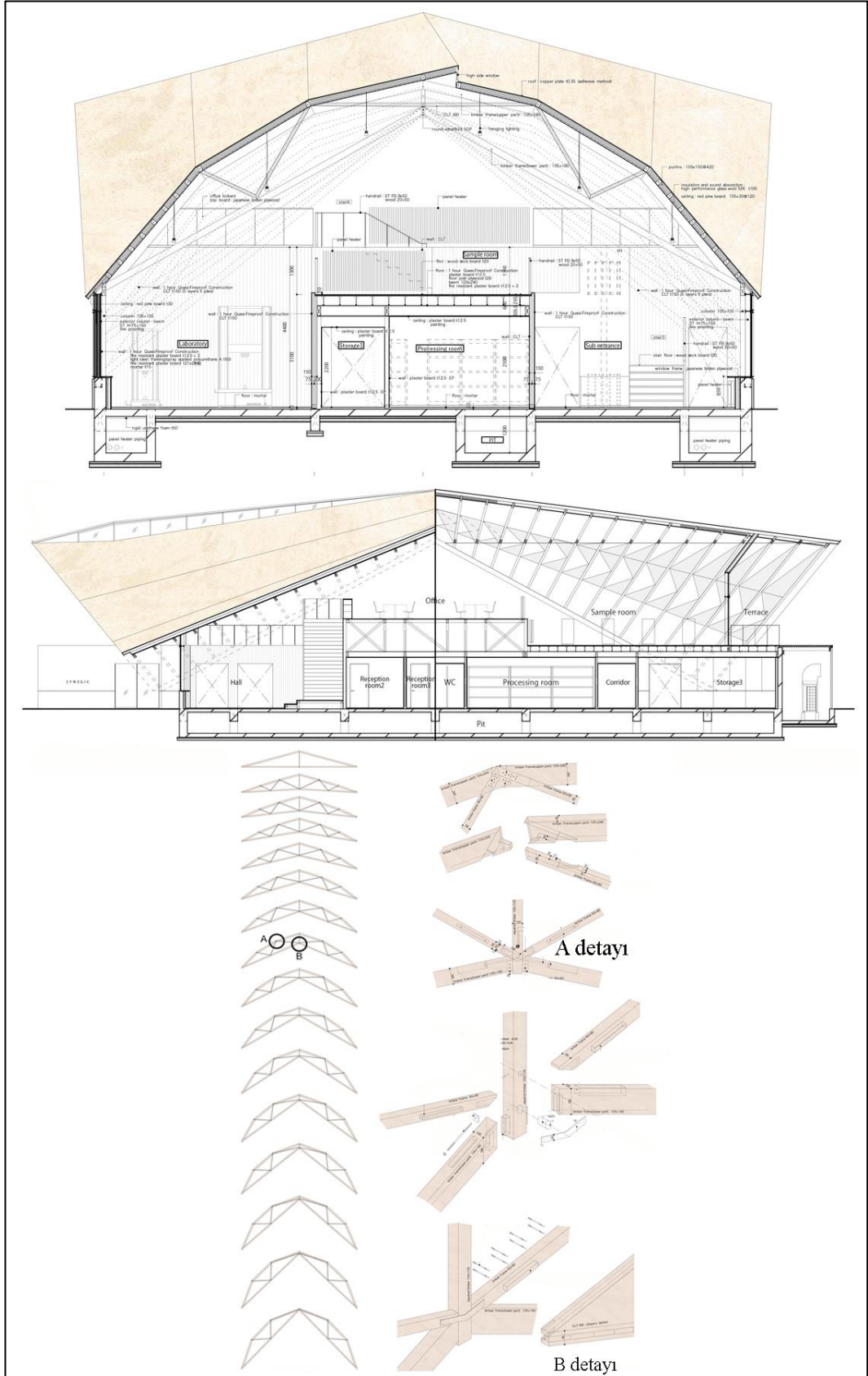


Resim 3-8: Syneqic Ofis binası Çalışma Alanı (Url-16).

Synergic'in çeşitli çalışma tarzlarını, standart masa çalışmasından deneylere ve harici araştırmacılarla iş birliğine kadar birbirlerini etkileyebilecek, canlı bir diyalog ve dayanışma duygusu oluşturacak şekilde ofis binasının iç mimarisi geliştirilmiştir. Ofis kat planı, binanın dış biçimini de belirleyen büyük ahşap çatının dinamik çerçevesini takip eder. İki seviyeye ve bir asma kat platformuna yayılmış olan çalışma alanı, geniş çatı ile güçlendirilmiş alanın dikliği ile ahşap kullanımının oluşturduğu samimi, sıcak bir atmosfer arasında denge kurmaktadır.



Şekil 3-11: Ofis Mimari Grafiği (Url-16).



Şekil 3-12: Syneqic Office Kesitler ve Nokta Detayı (Url-16).

3.3. YAPISAL KOMPOZİT AHŞAP / SCL (Structural Composite Lumber)

APA (The Engineered Wood Association) 'ya göre lamine kaplama ahşap (LVL), paralel yonga ahşap (PSL), lamine yonga ahşap (LSL) ve yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL) ürünleri içeren yapısal kompozit ahşap olarak da adlandırılan (SCL), tabakaların kurulması ve derecelendirilmesi ile oluşan endüstriyel ahşap ürünleri ailesini kapsamak için kullanılan bir terimdir.

Yapısal kompozit ahşap ürünleri, SCL, yüksek kaliteli ahşaba talebin artmasıyla geliştirilen, neme dayanıklı yapıştırıcılarla aynı boyutlarda birbirine yapıştırılmış daha küçük ahşap parçaların birleştirilmesiyle oluşturulan ürünlerdir. Elde edilen ürün geleneksel ahşaptan daha iyi performans göstermektedir.

Kompozit ahşap ürünlerinin en önemli avantajı, küçük boyutlu, hızlı büyüyen ve yeterince kullanılmayan ağaçlar kullanılarak oldukça büyük boyutlu ve direnç değerleri yeterli ürünler elde edilebilmesidir. Ayrıca SCL, düşük nem içeriğinde üretildiğinden dolayı neredeyse çekme, eğilme ve yarıma içermeyen, sağlam bir ahşap ürünüdür.

Yapısal kompozit ahşap türü olan LVL, ahşap kaplamanın uzunluk boyunca paralel şekilde sıkıştırılmasıyla elde edilmektedir. Günümüzde büyük açıklıklarda ve kompozit I kirişlerin başlıklarında kullanılmaktadır. Diğer yapısal kompozit ahşap türleri, yonga levhalardan veya yüksek basınç ve ısıyla yapıştırılmış kaplamalardan oluşan LSL, OSL ve PSL'dir (Stark vd.,2010).

3.4. LAMİNE KAPLAMA AHŞAP / LVL (Laminated Veneer Lumber)

1970'li yıllarda geliştirilen ve lamine kaplama ahşap olarak adlandırılan LVL, en yaygın kullanılan yapısal kompozit ahşap (SCL) ürünüdür. Doğal ahşapta ortaya çıkan yarıma, burulma, çatlak gibi sorunlar LVL' de büyük oranda azaltılmıştır. Böylece oluşan ahşap malzeme daha fazla yük taşıma imkânı, yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve boyutsal stabilite gibi özellikler sağlamaktadır.

Lamine kaplama ahşap (LVL), kalınlığı en fazla 3 mm olacak şekilde döner soyulmuş veya dilimlenmiş ince ahşap kaplamaların kurutularak, genellikle üretiminde kullanılan neme dayanıklı fenolik esaslı yapıştırıcılarla birlikte, ısı ve basınç altında büyük paneller halinde birleştirilmesiyle üretilir. Lif yönü birbirine paralel veya dik olacak şekilde birleştirilebilir. Kaplamaların lif yönlerinin paralel olacak şekilde düzenlenmesi daha fazla kullanılmaktadır. Eğer üretilen malzeme eğimli olacak ise lif yönünün paralel düzenlenmesi gerekmektedir. Bazı LVL elemanları, elemanın kesme mukavemetini arttırmak için dik açılarda yerleştirilerek laminasyon ile yapılabilmektedir. Bunlar Çapraz Bantlı LVL'ler olarak bilinmektedir ve yaygın olarak kullanılan bir ürün olmadığından özel olarak talep edilmeleri gerekir.



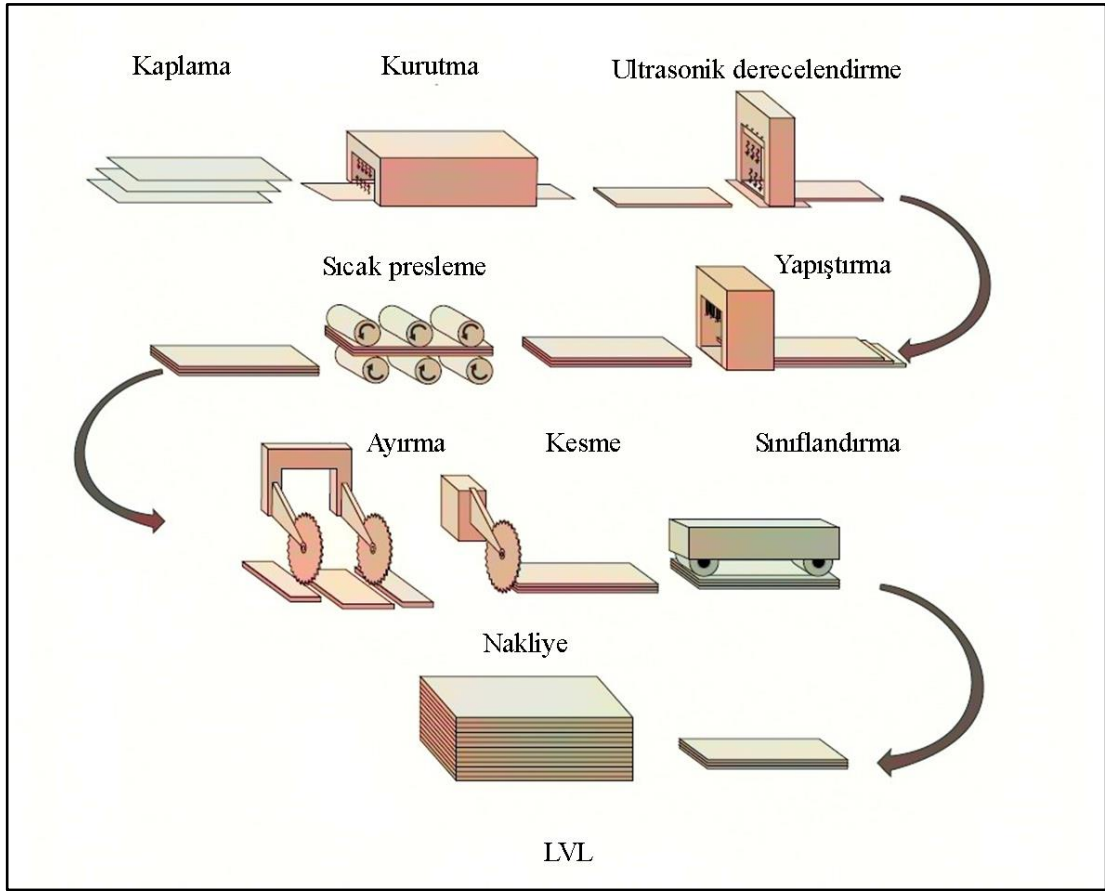
Resim 3-9: LVL Kiriş ve LVL Panelleri (LVL Handbook Europe, 2020).

LVL' nin 3 mm kalınlığında kaplamaların birleştirilmesi ile yapılması, ürünün boyutlarının hammaddenin boyutları ile sınırlı olmadığı hatta küçük çaplı kütüklerin bile büyük LVL kirişler ve paneller üretmek için kullanılabileceği anlamına gelir. Kaplama kütükleri, kaplama oluşturmak için soyulduğunda, ahşaptaki budaklar gibi doğal kusurlar, kaplama boyunca küçük parçalar halinde dağılır. Bu, laminasyon etkisi ile birlikte, kusurların etkisini ortadan kaldırır ve homojen malzeme olma özelliğiyle sonuçlanır. Ürün, yüksek mukavemetini homojen yapısından almaktadır.

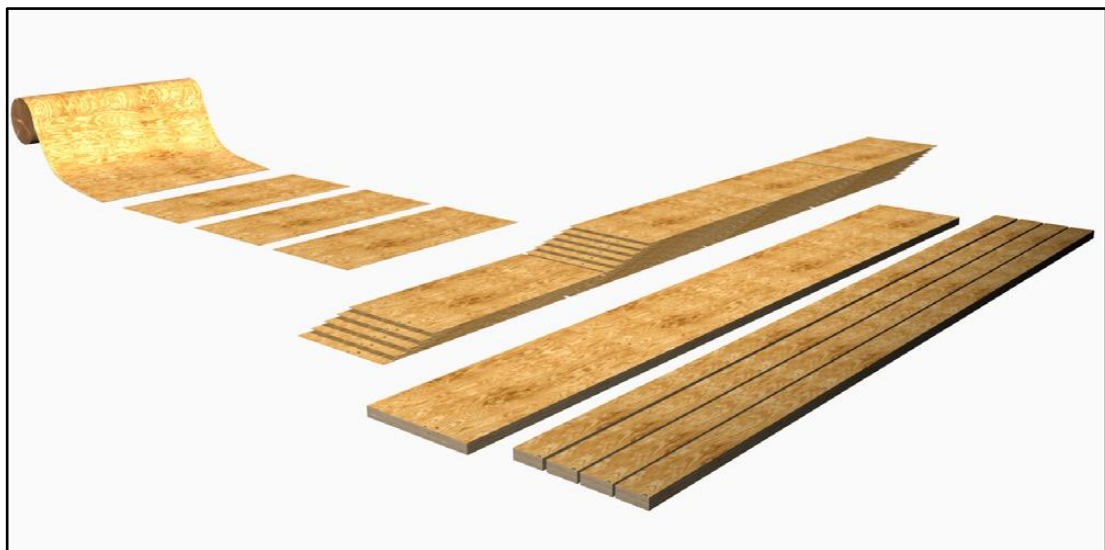
Laminasyondan önce kaplamaların kurutulması ve her bir kaplamanın taneleri aynı yönde yönlendirilmesi, LVL'yi masif ahşaptan daha güçlü, daha düz ve daha tekdüze hale getirerek ahşabın mukavemeti azaltan budaklar gibi bazı doğal sınırlamalarının da üstesinden gelir. Bu, kontrplak düzlemindeki izotropik özelliklerden (her yönde aynı mekanik özellikler) ziyade, masif ahşabın özelliklerine benzer şekilde ortotropik özellikler (farklı eksenlere karşı farklı mekanik özellikler) verir. Buda LVL' nin çekmeye veya eğilmeye daha az eğilimli olduğu anlamına gelir. LVL ayrıca daha ağır yükleri destekleyebilir ve normal ahşaptan daha uzun açıklıkları kapatabilir.

Lamine kaplama ahşap, üniform özellikleri ve farklı boyutlarda imalatı nedeniyle, özellikle geniş açıklıklı yapılarda kullanım alanı bulmuştur. LVL, kirişler, kolonlar ve paneller, avantajları, çok yönlülüğü ve kanıtlanmış yapısal performansı nedeniyle modern ahşap konstrüksiyonda temel bileşenler olarak yapı uygulamalarında kullanımı yaygındır. Ayrıca daha fazla sertlik için çapraz bağlandığında, yük taşıma kapasitesine sahip duvar ve zemin panelleri oluşturmak için de kullanılabilir.

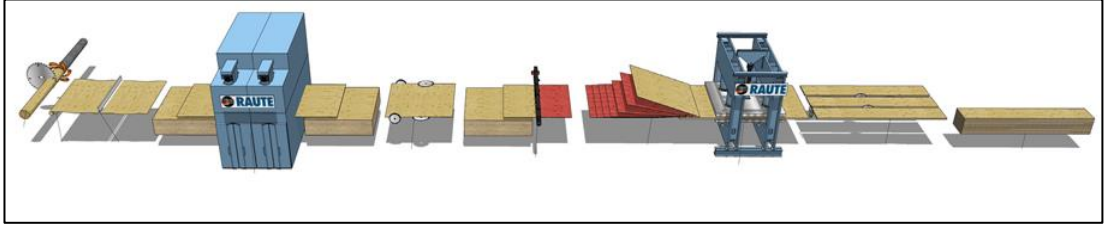
LVL üretimi için kaplamalar, kontrplak üretimi için kaplamalarla aynı şekilde yapılır. Yaygın olarak kullanılan kaplama kalınlıkları yaklaşık 2,5 mm– 3mm'dir. Tipik olarak, LVL imalatındaki kaplama kalınlıkları 6 mm'yi geçmez. Kontrplak üretimine benzer şekilde, taze soyulmuş kaplamalar mekanik olarak kurutulur. Kaplamalar daha sonra budak, budak delikleri ve yarıklar gibi kusurların sayısına ve boyutlarına göre kesilir, onarılır ve sınıflandırılır. Bitmiş LVL ürününün istenen mühendislik özelliklerini sağlaması için, nem içeriğini, yoğunluğunu ölçmek amacıyla bir kaplama testten geçirilir. Çıkan değerlere göre, kaplamalar LVL yerleştirmeleri için derecelendirilir ve sıralanır. Daha sonra kaplamalar birbirine fenol–formaldehit yapıştırıcılarıyla yapıştırılır. Tabakalar daha sonra sıcak bir preste preslenmeye hazırlanır. LVL tabakaları, sabit ya da aşamalı bir sıcak prese veya sürekli bir sıcak prese gönderilir. Sıcak presleme sırasında, termoset tipi yapıştırıcılar ile ısı ve basınç altında sertleştirilir. Böylece kaplama katmanları kalıcı olarak birbirine yapıştırarak büyük paneller oluşturulur. Son olarak, oluşturulan LVL panelleri, istiflenmeden ve paketlenmeden önce belirli genişlik ve uzunluklarda (örn; belirli bir kiriş genişliğinde) kesilerek sınıflandırılır (Şekil 3-13).



Şekil 3-13: LVL Üretim Aşaması (APA Engineered Wood Handbook, 2001).



Resim 3-10: LVL Üretim Aşaması (LVL Handbook Europe, 2020).



Şekil 3-14: Kaplamadan -Kesime kadar LVL Ürün Aşaması (LVL Handbook Europe, 2020).

Endüstriyel ahşap malzemeler arasında en çok kullanılan Glulamdan sonra tercih edilirlilik ve kullanım özellikleri bakımından ikinci sırada yer almaktadır. Lamine kaplama ahşaplar 24 metreye kadar açıklıkların tek seferde geçilebilmesine rahatlıkla imkân vermektedir. Eğrisel formdaki geniş açıklıkların geçilmesinde glulamın sunmuş olduğu avantajların tümünü sağlayamamakla birlikte, tasarımcının görsel estetik beklentilerine paralel olarak, küçük parçaların birleştirilmesi sayesinde eğri formların rijit bir şekilde elde edilebilmesini sağlayabilmektedir. Bununla birlikte LVL glulama göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahiptir. LVL'nin birleşim yüzeyleri arasındaki yapıştırıcının su iticilik özelliği ve daha az boşluk yapısına sahip olması sayesinde aynı cins ağaç malzemeye göre, fiziksel çevre koşullarından daha az etkilenmektedir. (Weinand, 2017).



Resim 3-11: LVL nem konuma ve su iticilik özelliği (LVL Handbook Europe, 2020).

Lamine Kaplama Ahşap (LVL) Avantajları;

- LVL' nin yüksek mukavemet ve sertliğinin düşük sapması, bu özelliklerin yapısal tasarımda karakteristik değerler olarak tamamen kullanılabilceği anlamına gelir. Ek olarak, büyük kusurların olmaması nedeniyle, LVL'nin mukavemet / ağırlık oranı son derece yüksektir. LVL, ağırlıkla orantılı olarak çelikten iki kat daha güçlüdür.
- LVL aynı zamanda boyutsal olarak stabildir, lamine yapısı nedeniyle bükölme, çekme veya yarıлма olmaz.
- LVL, mevsimsel faktörlerden bağımsız olarak uzunlamasına değişmeyen mekanik özelliklere ve tutarlı performansa sahip, tamamen homojen bir malzemedir. Yani tüm hizmet ömrü boyunca performansını değiştirmeyen, homojen simetrik yapıya sahip bir malzemedir.
- LVL'nin delinmesi, kesilmesi, tutturulması ve takılması kolaydır. Sadece standart ahşap işleme aletleri gereklidir.
- LVL, çapraz kesme ve testere israfını en aza indirerek kesin boyutlarda üretilebilir. Ortaya çıkan düşük malzeme atığı ve tek tip LVL kalitesi, özellikle endüstriyel uygulamalarda ve inşaat elemanlarının saha dışı üretiminde malzeme verimliliğini artırır.
- LVL' nin üretim maliyetleri, tüm endüstriyel ahşap ürünleri gibi, masif ahşaba kıyasla daha yüksek olmasına rağmen, LVL ile aynı yapılar daha az malzemeye ile tasarlanabilir.
- LVL, hammadde boyutuyla sınırlı değildir. Hemen hemen her boyutta üretilebilmektedir.

- LVL, fabrikadan kurutulduğunda, nem içeriği %8–10 olarak gelir ve LVL üyeleri hava şartlarına karşı korunduğu sürece sahada veya yapıda çekme riskini ortadan kaldırır.
- LVL, diğer ahşap ürünleri ve diğer yapı malzemeleriyle de kolayca birleştirilebilir. Maksimum verimlilik için diğer ürünlerle (CLT ve nervür panelleri) birlikte iyi çalışır.
- LVL, çevre dostu üründür. Yapılarda bir karbon deposu görevi görür: 1 m³ LVL, 789 kg CO²'ye eşdeğer depolanmış karbon içerir.

3.4.1. Motat Havacılık Sergi Salonu /Auckland, Yeni Zelanda

MOTAT Havacılık Sergi Salonu, Ulaştırma ve Teknoloji Müzesi'nin (MOTAT) tarihi uçak koleksiyonu için önemli olan yeni bir müze tesisidir. Sergi salonu, Auckland'daki Meola Yolu alanındaki mevcut Lancaster hangarını genişletmek için hangara ek yapı olarak tasarlanmıştır.

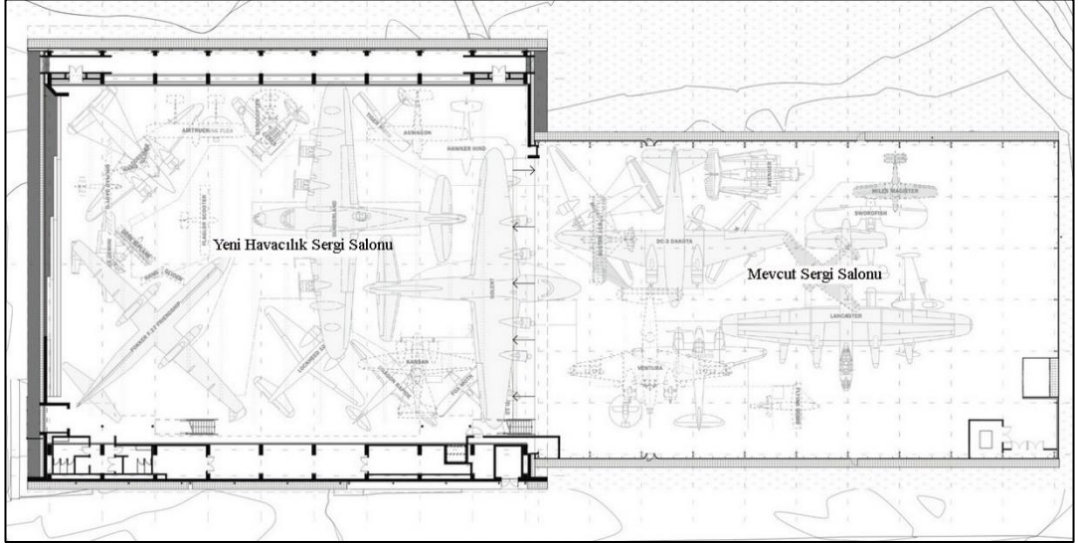
MOTAT yapısı, yenilenen mevcut hangar ve tasarlanan sergi salonu yapılarından oluşmaktadır. Mevcut hangarına bitişik olarak inşa edilen sergi binasının tasarımı, hangar formunun ahşap bir yorumu olarak çözümlenmiştir. MOTAT Havacılık Sergi Salonu, bazıları dünyada tek örneği kalan, Yeni Zelanda'nın en büyük sivil ve askeri uçak koleksiyonunun, ilk kez korumalı bir ortamda sergilendiği yapıdır. Mimarlık, mühendislik ve sürdürülebilirlik gibi farklı alanlarda yedi ödüle sahiptir.

Boyutuna göre alışılmadık bir şekilde, yapının neredeyse tamamı Lamine kaplama ahşaptan (LVL) inşa edilmiştir. Havacılık Sergi Salonu, 55 m uzunluğunda, 50 m genişliğinde ve 15 m yüksekliğinde 3300 m²'lik bir yapıdır. Uçakların geniş kanat açıklığını kapsayacak şekilde oluşturulan, 42 metre açıklığın geçildiği yapı, Yeni Zelanda'daki LVL ile yapılan ahşap yapılar arasında en geniş açıklığa sahip yapıdır.



Resim 3-12: Motat Havacılık Sergi Salonu Vaziyet Planı ve Dış cephe (Url-17).

Yapı alanı geçmişte atık döküm alanı olarak kullanılmıştır. Bu nedenle yapı çelik kazıklar üzerine oturmaktadır. Zemin döşemesi betonu tek seferde dökülmüş ve taşıyıcılığı artırmak amacıyla ardgeme sistemi kullanılmıştır. Binadaki açıklık 42,00 metredir. Yapının ana taşıyıcıları doğu-batı yönünde 6,15 metre aks aralıklarıyla yerleştirilmiştir. Bu taşıyıcılar arasına yerleştirilmiş olan çapraz bağlantılar, yanıl yüklere karşı yapıya dayanım kazandırmaktadır. Yapının ana taşıyıcı elemanları, aşıkları, duvar elemanları (kirişler) ve çapraz bağlantı elemanları LVL'den üretilmiştir. (Oliver, Rodger, Clarke, 2012).



Şekil 3-15: Motat Havacılık Sergi Salonu Zemin Planı (Url-17).



Resim 3-13: Motat Havacılık Sergi Salonu (Url-17).

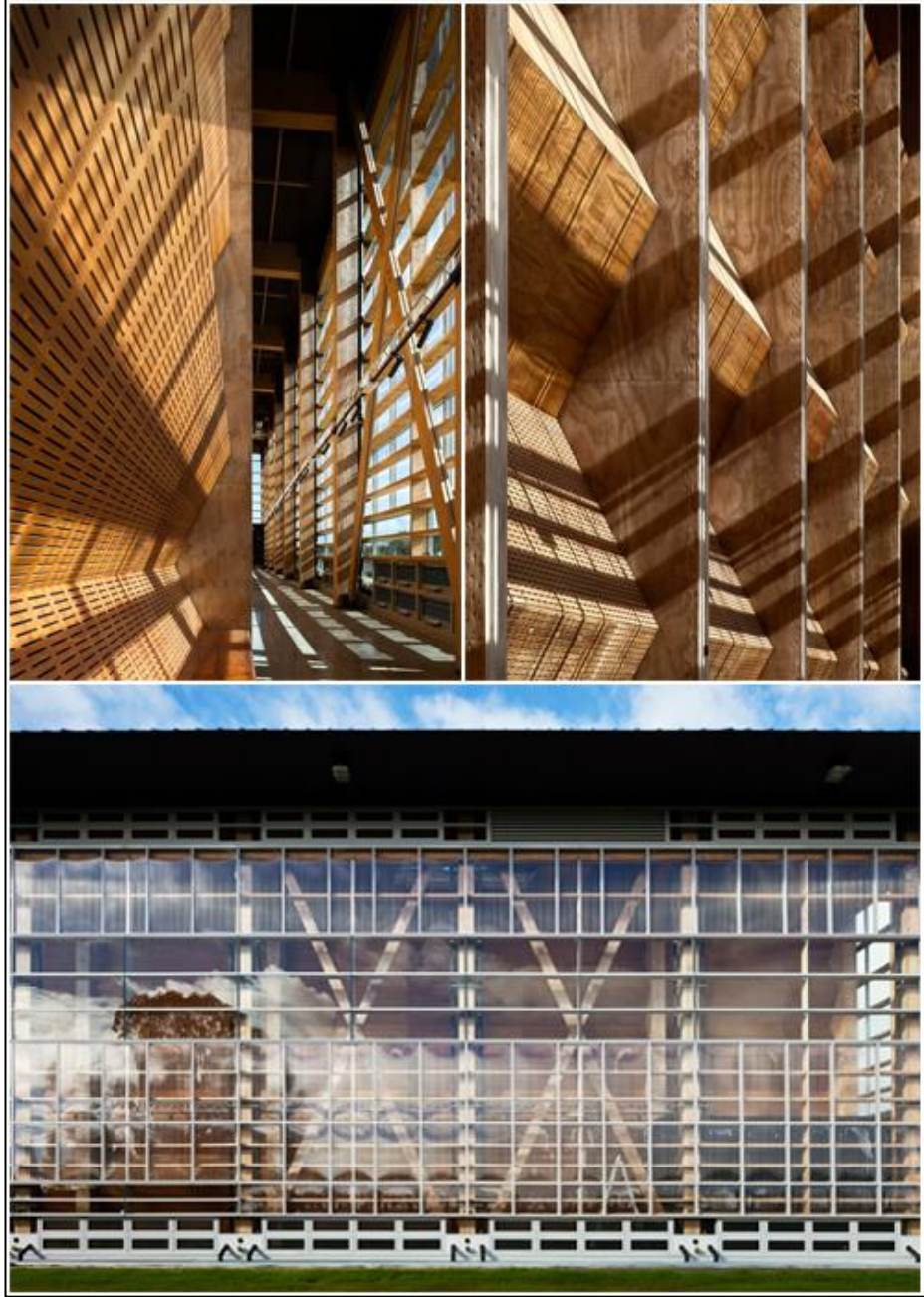
Yapının iç bölümünde ise, mekânı sınırlayan ve tamamlayan ahşap kabuk bulunmaktadır. Uçakların yapı içine giriş çıkışları ek yapının batı cephesinden yapılmaktadır. Ayrıca yapının havalandırması, kuzey cephesinde yer alan mekanik pencerelerle doğal olarak sağlanmaktadır.

Yapının güney yönünde yer alan asma kat, ana taşıyıcının iki aşap kolonuyla desteklenmektedir. Cephe boyunca devam eden bu kata, tek kollu elik konstrüksiyon merdivenle ulaşılmaktadır. Asma katın altında (zemin katta) ise giriş, kafeterya, mağazalar ve tuvaletler yer almaktadır. Binanın kuzey cephesi çift cephe olarak tasarlanmıştır. Bu cephede 1,23 metrelik modüller ile oluşan saydam dış kabuğun arkasında 3,00 metre genişliğinde ve 12,00 metre yksekliginde galeri bulunmaktadır. Beşik biçimindeki çatı ise, 50 metre uzunluğundaki LVL kutu kirişler ve her iki yönde ikişer kolonla desteklenmektedir. Kutu kirişler 120 cm yksekliginde ve ~ 43 cm genişliğindedir. Açıklığı geçen aşap strüktür, aynı zamanda havada asılı duran 220 kN uçakları da taşıma kapasitesine sahiptir (Oliver, Rodger, Clarke, 2012).

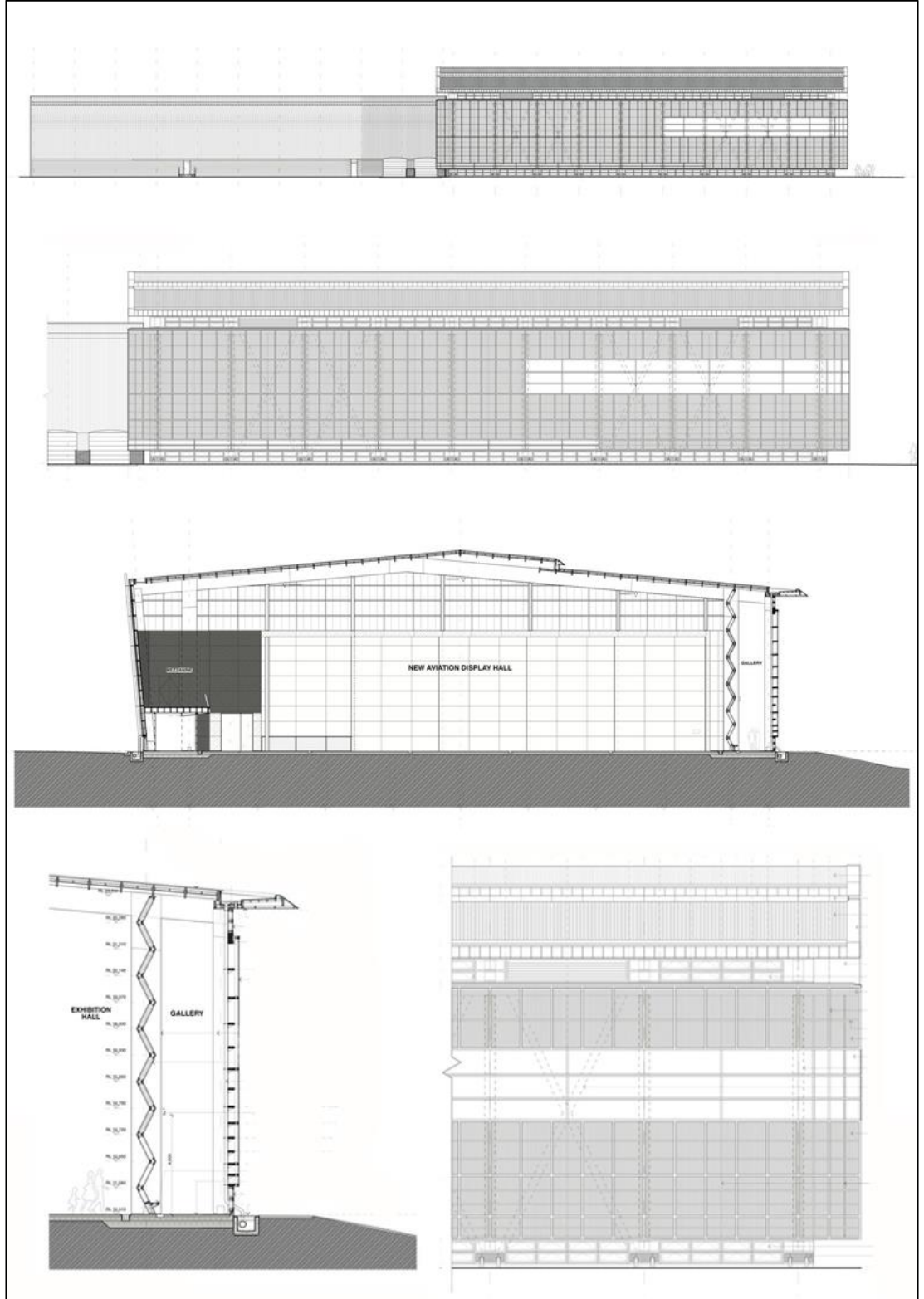


Resim 3-14: Motat Havacılık Sergi Salonu İ Mekân Görünümü (Url-17).

Yapının strüktürünü oluşturan kolonlar ve kirişler ön yapımlı olarak üretilmiştir. Bir aksta yer alan kolon sayısı dördür. Açıklığı geçen kirişler dört parçadan oluşmaktadır. Bu elemanlar öncelikle bir modülü oluşturacak biçimde zeminde birleştirilmekte ve her iki yönde aşık montajı yapılmaktadır. Montajı tamamlanan çerçeve daha sonra kolon başlıklarına kaldırılarak yerine yerleştirilmektedir. Kolon kiriş birleşimlerinde çelik levhalar kullanılmıştır.



Resim 3-15: Motat Havacılık Sergi Salonu Ahşap Görünümü (Url-17).



Şekil 3-16: Motat Havacılık Sergi Salonu Kesitleri ve Detayı (Url-17).

3.5. PARALEL YONGA AHŞAP / PSL (Parallel Strand Lumber)

Kontrplağın tarihi yüzyıllar öncesine dayanmaktadır ancak 19. yüzyılın sonlarında ince ahşap kaplama üretmek için kütük soyma aletinin icadı ve 20. Yüzyılın başlarında sentetik su geçirmez yapıştırıcıların ortaya çıkışı gibi yenilikler sayesinde yapısal olarak tasarlanmış bir ahşap ürünü olarak öne çıkmıştır. Fenol formaldehit (PF) gibi su geçirmez yapıştırıcılar, zorlu dış mekân uygulamalarda kullanılacak güçlü ve dayanıklı yapısal ahşap kompozitlerin üretimine yol açarken, döner soymanın icadı kaplamaların endüstriyel olarak uygulanabilir bir ölçekte üretilmesini sağlamıştır. Endüstriyel ahşap üretime bu yeniliklerin getirdikleri sayesinde önceleri lamine kaplama ahşap (LVL) üretilmiş, sonrasında bugüne kadar gelişmeye devam eden kaplama esaslı endüstriyel ahşap ürünleri için yeni uygulama alanları oluşturan paralel yonga ahşap (PSL) üretilmeye başlamıştır (Hughes, 2015).

Paralel yonga ahşap (PSL), önemli yapısal kompozit ahşaptan (SCL) biridir. Son zamanlarda, yüksek kaliteli yapısal ahşaba olan talep arttığından dolayı talebi karşılama ihtiyacı ile, 1970'li yıllarda MacMillan Bloedel Ltd.'de küçük çaplı kütükler gibi düşük kaliteli ahşabı yüksek mukavemetli ahşaba dönüştürme girişimi sonucunda PSL'ler geliştirilmiştir.



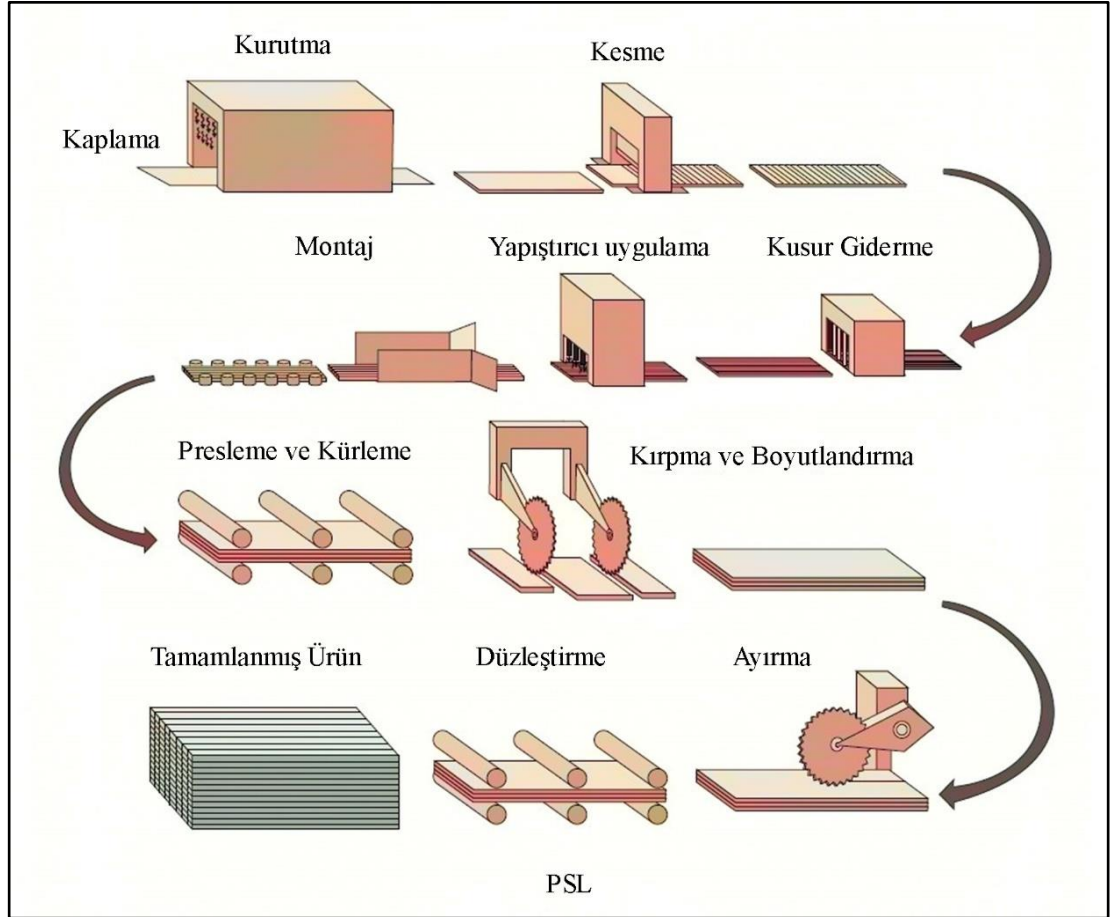
Resim 3-16: Paralel Yonga Ahşap (PSL) (Url 18).

Paralel yonga ahşap (PSL), dar şeritler halinde kesilen ve tane yönü esas olarak elemanın uzunluğuna paralel olacak şekilde, basınç altında birbirine tutkalla yapıştırılan kaplama şeritlerinden üretilen yüksek mukavemetli yapısal kompozit ahşap (SCL) ürünüdür. Tüm SCL' lere benzer şekilde, PSL, mukavemet, performansın öngörülebilirliği, mevcut boyutlar, boyutsal stabilite, işlenebilirlik ve daha yüksek ahşap kullanım oranı (masif ahşaptan %24 daha fazla) açısından masif ahşaba göre avantajlara sahiptir. PSL' de kullanılan şeritler için, kontrplak ve LVL endüstrileri tarafından proses atık / kalıntı olarak kabul edilen kaplamalar kullanılabilir ya da kontrplak ve LVL üretiminde kullanılanlar gibi tam boyutlu kaplamaların kullanılması da mümkündür. Buna ek olarak, PSL büzülme, eğilmeye, çukurlaşmaya veya yarılmaya daha az eğilimlidir.

PSL, ahşaptan daha fazla mukavemet özelliklerine sahiptir. LVL' de olduğu gibi, kaplama türlerinin ve sınıfların istifleme işleminde optimize edilmiş kullanımı ile elde edilmek yerine, preslenmiş kütüğün yoğunlaştırma miktarının artırılmasıyla mukavemeti artırılır. Genellikle, bir PSL kütüğü yaklaşık 28 – 48 cm' lik bir enine kesitte yapılır. Daha büyük enine kesiti, PSL' nin ikincil yapıştırma olmadan yapısal ahşap ürünler için doğrudan bir ikame olarak kullanılmasına izin verir. Kaplama şeritlerin daha fazla hizalanmaları ve artan yoğunlaştırma nedeniyle, PSL, mükemmel mukavemet ve sertliğe sahiptir. Bununla birlikte, dezavantaj olarak PSL, aynı boyuttaki biçilmiş veya yapıştırılmış lamine ahşaptan (glulam) daha ağırdır. Ayrıca, yapıştırıcısı testereler ve matkaplar için daha aşındırıcıdır. LVL ve glulam gibi, PSL de yüksek eğilme mukavemetine ihtiyaç duyulan uzun açıklıklı kirişler, yük taşıyıcı kolonlar ve büyük başlıklar olarak kullanılır. Yüksek eğilme veya sıkıştırma geriliminin gerekli olduğu uygulamalar için çok uygundur. Hem iç hem de dış mekân uygulamalarında kullanılabilir.

PSL'de kullanılan kaplamaların (şeritlerin) boyutları yaklaşık olarak 0,3 cm kalınlığında, 2 cm genişliğinde ve 60 cm uzunluğundadır. Şeritler, genellikle fenol-resorsinol formaldehit reçinesi olan dış koşullarda yapısal uygulamalar için PSL üretiminde kullanılan yapıştırıcılar ile kaplanmıştır. Şeritler, kütüğün uzunluğuna paralel olarak yönlendirilmiştir. Yapıştırıcıyı sertleştirmek için kullanılan ısı, sıcak

preste mikrodalga ile üretilir. Bu, yapıştırıcının içten dışa sertleşmesini mümkün kılar. Bu nedenle, PSL' nin enine kesiti, sıcak presleme sırasında ısının tipik olarak dışardan kütüğün içine aktarıldığı için, LVL' den daha büyük olarak yaklaşık 28 – 48 cm' e kadar yapılabilir. Sürekli presleme işlemi, daha yüksek bir yoğunlaştırma derecesinin elde edilmesini sağlar. Sürekli preslemede uzunluk sınırlaması olmamasına rağmen, PSL uzun uzunluklarda yapılabilir ancak genellikle nakliye kısıtlamaları nedeniyle 20 m ile sınırlıdır. Paralel yonga ahşaplar daha sonra istenen boyutlara yeniden boyutlandırılır. Gerekirse, ikincil işlemlerle daha büyük kesit boyutları elde edilebilmektedir.



Şekil 3-17: PSL Üretim Aşaması (APA Engineered Wood Handbook, 2001).

3.5.1. Bamfield Marine Centre / Bamfield, Bc, Kanada

Kanadalı mimarlık firması de Hoog & Kierulf, Kanada'nın Batı Kıyısında küçük bir topluluk olan Bamfield'deki Rix Okyanus Keşifleri Merkezi'ni tasarlamıştır.



Resim 3-17: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi (Url-19).

Rix Okyanus Keşifleri Merkezi, 1200 m²'lik birleşik bir konferans merkezi ve Deniz bilimleri laboratuvarı tesisidir. Esnek konferans salonları, çeşitli ıslak ve kuru laboratuvarlar, seminer odaları, ofisler ve hem resmi hem de gayri resmi toplantı alanları sağlamanın yanı sıra bina, küresel bir oşinografi merkezi olarak Bamfield Deniz Bilimleri Merkezi için bir simge olacak şekilde tasarlanmıştır.

Bir deniz kabuğu yapısı, giriş ve ana karşılama alanlarının şekli için ilham kaynağı olmuştur. Buradaki zorluk, yerel malzemeler ve işçilik kullanılarak Bamfield'in uzak batı kıyısındaki yağmur ormanlarında işlevsel ve inşa edilebilir şekilde, kabuk formunun özünü özgün bir biçimde yakalamaktı. Ağır bir ahşap çatı, atölyede üretilmiş, hassas bir şekilde Bamfield'a tek tek taşınan ve sahada monte edilen modüler bileşenlere sahip bir dizi kontrplak ve glulam bölmeleri (esasen bir "kabuk" yapısı) olarak tasarlanmıştır. Bölmeler arasındaki çift kirişler, yağmuru, çatının tüm bölümlerinden merkezi bir oluğa yönlendiren sürekli eğimli oluklar olarak işlev görmektedir.



Resim 3-18: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi Yapım Aşaması (Url-19).

Deniz kabuğunun geometrisi, resepsiyon alanının planlanmasında, mekansal ifadesinde ve aydınlatmasında da kullanılmıştır. Tesise giriş, fuayeyi resepsiyon alanından ayıran eliptik glulam sütunlarla çevrelenmiş bir alandan oluşmaktadır. Çatı, bu sütunlardan yayılarak, kavisli camlı bir cephenin, Barkley Sound'un ve Vancouver Adası'nın merkezi dağlarının panoramik manzarasına izin verdiği bina yüzünde ikinci bir sütun halkasına kadar uzanmaktadır. Sarkıt lambalar, inci veya suda asılı deniz canlıları gibi tavandan sarkıtılmaktadır.

Ödüllü deniz kabuğu çatı yapısı, Bamfield Denizcilik Merkezi'nin deniz bilimleri çalışmaları için amacını doğrudan yansıtmaktadır. Deniz kabuğu ahşap çatı, yaklaşık 3,5-4 m genişliğinde ve 15 m uzunluğa kadar 12 kemerli (PSL) kirişler tarafından desteklenen, dış kabuk kullanılarak tasarlanmıştır. Her biri 33 m yarıçapında lamine edilmiş olan kabuğun ahşap alt kirişleri, eliptik şekilli cephe sütunları ile desteklenmiştir. PSL aynı zamanda geniş çatı yapısını destekleyen cephe

sütunları olarak da kullanılmaktadır. Sütunlar binanın çevresi boyunca aralıklı görünür ve ahşap çatıyı tamamlar. Cam bölmeler arasında ahşap dikmelerin ve alüminyum dökümlerin bulunduğu 6 m yüksekliğindeki cephe, Pasifik Okyanusu'nun manzarasını çerçeveleyen güzel bir cam duvar oluşturur.



Resim 3-19: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi İç Mekân (Url-20).



Resim 3-20: Rix Okyanus Keşifleri Merkezi Detaylar (Url- 19).

3.6. YÖNLENDİRİLMİŞ YONGA AHŞAP / OSL (Oriented Strand Lumber) ve LAMİNE YONGA AHŞAP / LSL (Laminated Strand Lumber)

Yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL) ve lamine yonga ahşap (LSL), yönlendirilmiş yonga levhaları (OSB) üretmek için kullanılan teknolojinin bir uzantısıdır. Yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL), paralel yonga ahşaba (PSL) benzer şekilde, uzunluk - kalınlık oranının yüksek olduğu ince ahşap şeritlerden yapılır. LSL ve OSL farklılıktan çok benzerliğe sahiptir. Aralarındaki temel fark LSL’de kullanılan şeritlerin en boy oranının OSL’den daha yüksek olmasıdır. Hem LSL hem de OSL diğer yapısal kompozit ahşaplar gibi üretim sürecinde küçük parçalarla üretilebildiğinden orman kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamaktadır (AF&PA, 2006).

Yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL), büyük yükleri kaldırabilen, bir birimden diğerine tutarlı özelliklere sahip yapısal bir paneldir. OSL, lamine yonga ahşap (LSL) ürününe benzerliğinden dolayı LSL'ye benzer bir üretim sürecine sahiptir (Şekil 3-18). Üretim aşamasındaki yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL) ilk olarak kütüklerden kaplama tabakaları soyulduktan sonra ahşap şeritler oluşturulmaktadır. LSL ile aralarındaki temel fark, OSL'de üretiminde kullanılan ahşap şeritler, LSL'de kullanılanlardan daha kısa olmasıdır. Bir OSL ürünü, ahşap şeritlerin elemanın boyuna paralel olacak şekilde hizalanarak, ısı ve basınç altında birbirine yapıştırılıp sonrasında yığın halinde oluşturularak ve preslenerek yapılmaktadır. Bazı konut uygulamalarında yumuşak ahşabın yerini alır, ancak tek bir ahşap parçası için mümkün olmayan boyutlara ulaşabileceğinden, konut dışı inşaatlarda ek uygulamaları da vardır. Konut harici ticari ve endüstriyel yapı inşaatlarında da kullanılmaktadır. OSL ayrıca mobilya imalatı gibi endüstriyel amaçlar için de kullanılmaktadır.



Resim 3-21: Yönlendirilmiş Yonga Ahşap (OSL) (Url-21).

OSL, budaklar, çatlaklar ve yarıklar gibi doğal kusurların malzeme boyunca dağılmış olması veya üretim sürecinde tamamen ortadan kaldırılması nedeniyle sağlam, yüksek oranda tahmin edilebilir, tek biçimli bir ahşap üründür. Diğer yapısal kompozit ahşap (SCL) ürünler gibi, OSL de büzülmeyi en aza indiren öngörülebilir mukavemet ve rijitlik özellikleri ile boyutsal stabilite sunmaktadır. OSL'nin inşaatteki yaygın uygulamaları arasında kiriş başlıkları, kirişler, uzun duvar dikmeleri, kenar plakalar, eşik plakalar ve ahşap doğramalar bulunur. OSL ayrıca iyi bir bağlantı elemanı olarak da kullanılmaktadır. OSL tescilli bir üründür. Bu nedenle belirli

mühendislik özellikleri ve boyutları her üreticiye özeldir. Dolayısıyla OSL' nin ortak bir üretim standardı ve ortak tasarım kriterleri bulunmamaktadır. (Canadian Wood Council, 2019).

Diğer ahşap ürünlerde olduğu gibi, OSL şantiyede depolama sırasında ve kurulumdan sonra hava koşullarından korunmalıdır. Ürünün şantiyeye gönderilmek üzere ambalajlanması, neme karşı koruma sağlanması açısından önemlidir. Ürünün uç ve kenar sızdırmazlığı, nem penetrasyonuna karşı direncini artıracaktır.

Bir Lamine yonga ahşap (LSL) ürününde, OSL için kullanılan şeritlerden biraz daha uzun şeritler kullanılır. LSL, kütükten kesilen ve kurutulan yaklaşık 30 cm uzunluğunda uzunluk yönüne paralel olarak dizilen şeritlerin basınç altında sıkıştırılmasıyla oluşan yapısal kompozit malzeme ürünüdür. LSL üretiminde neme dayanıklı yapıştırıcılar kullanılmaktadır. MDI (Metilen difenil diizosiyanat) reçinesi, dönen bir tamburdaki şeritler üzerine püskürtülür ve şeritler, 2,4 m genişliğe, 14 cm kalınlığa ve 15 m uzunluğa kadar kereste şeklinde oluşturulur ve ardından buhar enjeksiyonlu preste sertleştirilir. Buhar enjeksiyonlu presleme işlemi, püskürtülen yapıştırıcının şeritler üzerinde sertleşmesini böylece LSL' nin daha fazla hizalanmasını ve yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Bu durum da, nihai ürünün mukavemet özelliklerinin artması ile sonuçlanır. Preslendikten sonra net kereste boyutuna kadar kesilir ve zımparalanır.



Resim 3-22: Lamine Yonga Ahşap (LSL) (Url-21).

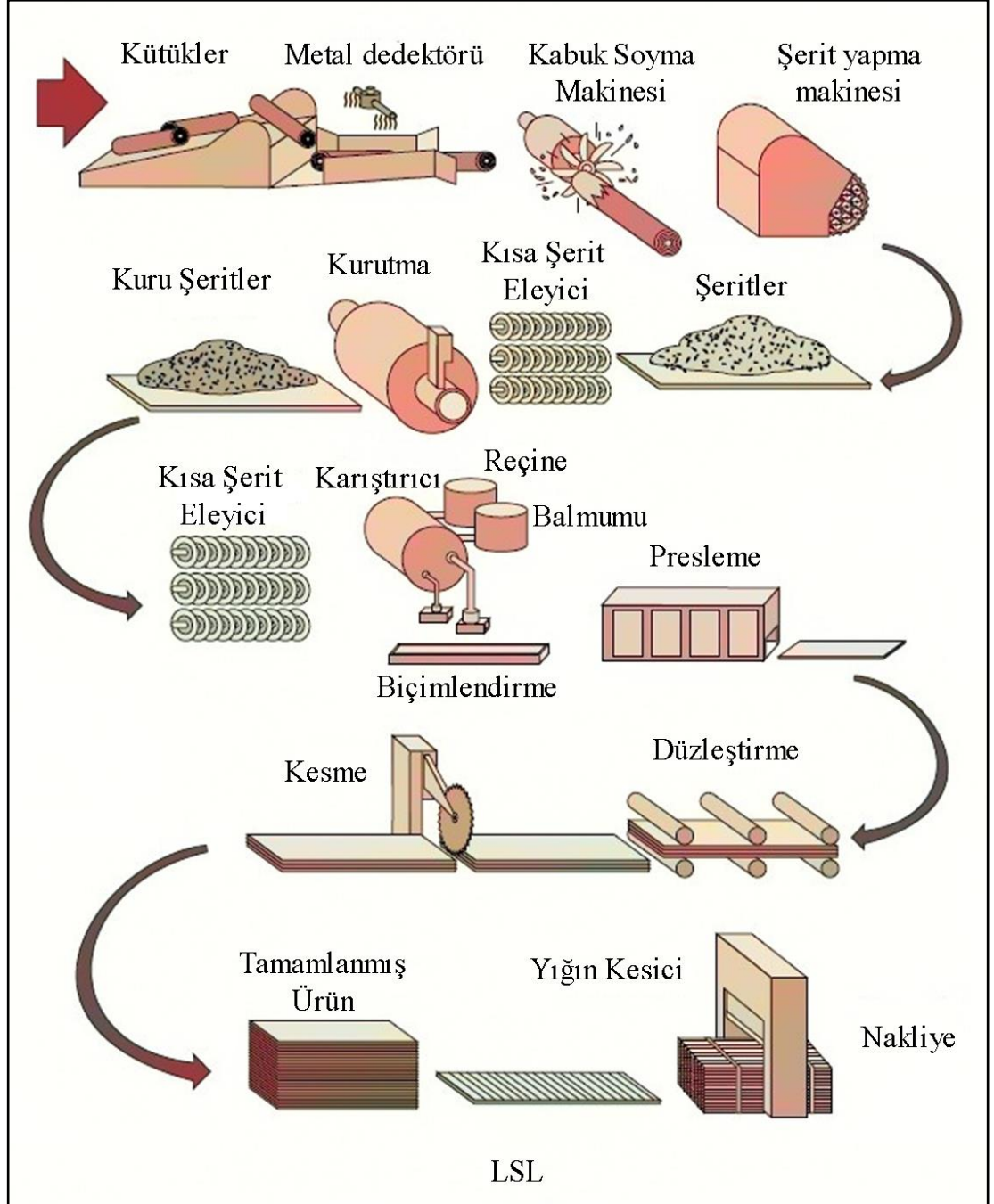
LSL, iyi bir bağlantı elemanı tutma gücü ve mekanik bağlantı performansı göstermektedir. Genel olarak LSL, LVL ve PSL'den biraz daha düşük mukavemet ve sertlik özelliklerine sahiptir. Ayrıca LSL, daha fazla yoğunlaşması nedeniyle LVL ve PSL'den daha az boyutsal olarak kararlıdır. Nispeten yoğun LSL'yi oluşturmak için daha fazla ahşap maddesi sıkıştırıldığından, nem içeriği değiştikçe LVL ve PSL'ye kıyasla daha fazla kalınlık şişmesi sergilemektedir.

LVL, PSL ve LSL ile karşılaştırıldığında, OSL, düşük kaliteli ahşap kaynağı kullanmanın etkili bir yolu olan küçük şerit elemanları kullanır (Beck, 2009). Şerit kalınlığı ve uzunluğu, incelik oranı ve spesifik yüzey alanının optimizasyonu ile LSL ile aynı özelliklere sahip OSL üretme olasılığını göstermiştir. Gelecekte, yeterince kullanılmayan ahşap kaynakları OSL üretimi için kullanılabilir. Genel olarak OSL, LVL ve PSL'den daha zayıftır çünkü ahşap şeritler daha kısadır. Ayrıca OSL, LSL'den biraz daha düşük mukavemet ve sertlik değerlerine sahiptir.

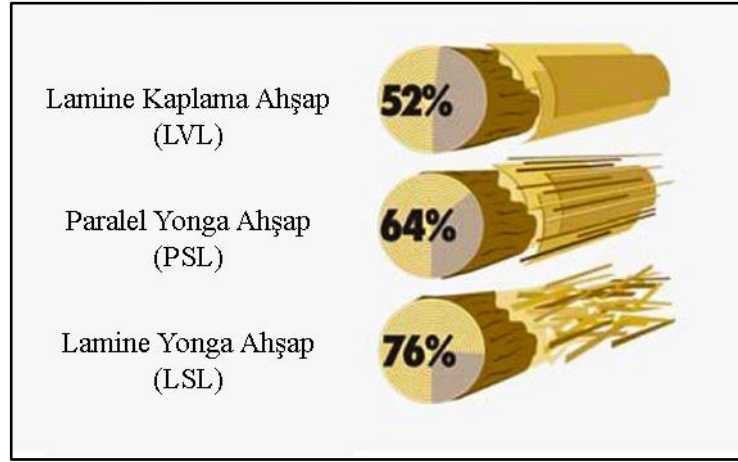
SCL ürünleri arasında LSL, ahşap kaynaklarının kullanımında en verimli olanıdır. Şeritlerin kaplamadan elde edildiği PSL'nin aksine, LSL kesilmiş şeritler kullanıldığı için ahşap kaynaklarını daha verimli kullanır. Çünkü; ahşap şerit boyutu azaldıkça ağaçları yapısal ürünlere dönüştürmek daha verimli hale gelir. Bir kütükten, LVL, PSL ve LSL nihai ürünleri için, kütük hacminden toplamda sırasıyla %52, %64 ve %76 dönüşüm göstermiştir. Lamine yonga ahşabın (LSL) hammadde konusunda herhangi bir kısıtlaması yoktur. Aspen, sarı kavak ve diğer az kullanılan, hızlı büyüyen türler de dahil olmak üzere birçok türün küçük kütükleri ve eğri kütükleri LSL üretiminde kullanılabilir (Şekil 3-19).

LSL üretim aşamasında ilk olarak kütüklerden kabuk tabakaları soyulduktan sonra ahşap şeritler üretilir ve daha sonra istenmeyen boyutları ortadan kaldırmak için şeritler elenir. Şeritler, tambur tipi bir kurutucudan geçirilir. Dış tip yapıştırıcılar, balmumu ve diğer katkı maddeleri bir karıştırıcıda karıştırılır ve sıvı karışım, dönen bir tamburun içinden geçerken şeritlerin yüzeylerine püskürtülür. Şeritler, birden çok biçimlendirme başlığına sahip bir biçimlendirme makinesi aracılığıyla yönlendirilir ve sıcak bir prese gönderilir. Sıcak presleme sırasında uygun sıcaklık ve basınçlar altında

reçinelerin sertleşmesi ve ürünün yoğunlaştırılması sağlanır. LSL' ler daha sonra gerekli boyutlara kesilir. Bu teknoloji ile yaklaşık 2,5 m genişliğinde ve 1,5 m kalınlığa ve 15 m uzunluğa kadar kütük üretilebilir. Son olarak kütükler, son kullanımlar için istenilen farklı boyutlara kesilir ve ayrılır (Şekil 3-18).



Şekil 3-18: LSL Üretim Aşamaları (APA Engineered Wood Handbook, 2001).



Şekil 3-19: SCL Ürünlerinin Dönüşüm Verimliliği (American Wood Council).

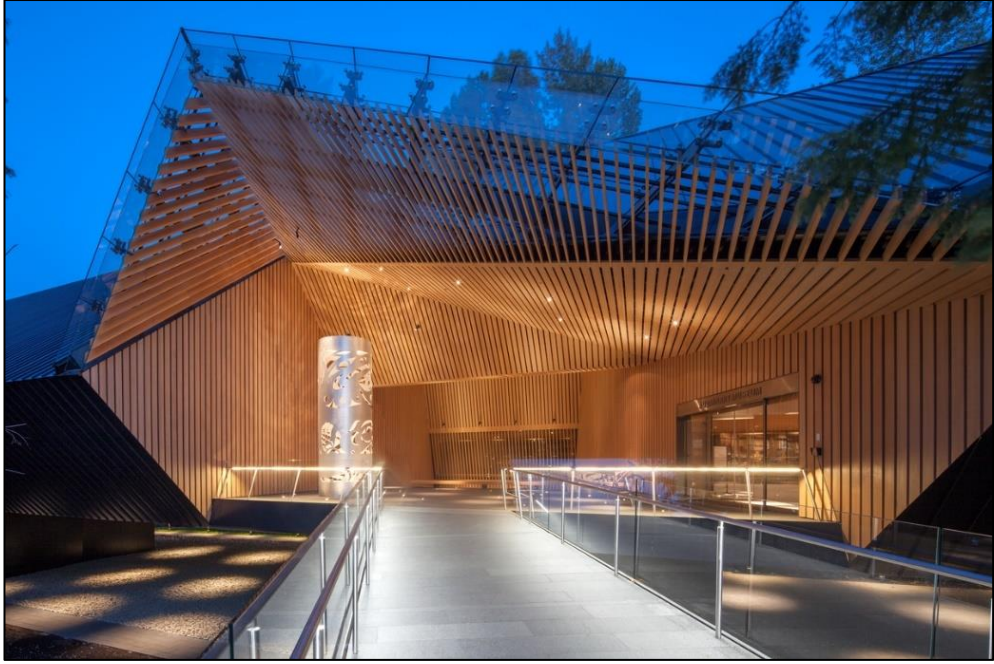
LSL, öncelikle konut, ticari ve endüstriyel inşaat için yapısal çerçeve olarak kullanılır. LSL'nin yaygın uygulamaları arasında diğer yapısal kompozit ahşap ürünlerine benzer bir şekilde; başlıklar ve kirişler, duvar ve çatı yapımında dikmeler, zemin yapımında bant kirişleri, doğrama işleri için kullanılmaktadır. LSL aynı zamanda iyi bir bağlantı elemanı tutma gücü sunmaktadır. Ayrıca bir tasarım özelliği olarak açıkta bırakılabilir. Hem LSL hem de OSB biraz daha düşük tasarım değerlerine sahipken, kaplamaya soyulmak için yeterince büyük bir kütük boyutunda olması gerekmeyen bir hammaddeden üretilme avantajına sahiptirler.



Resim 3-23: Soldan sağa:Yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL), Lamine Kaplama Ahşap (LVL), Lamine Yonga Ahşap (LSL) ve Paralel Yonga Ahşap (PSL) (American Wood Council).

3.6.1. Audain Sanat Müzesi / Whistler, Kanada

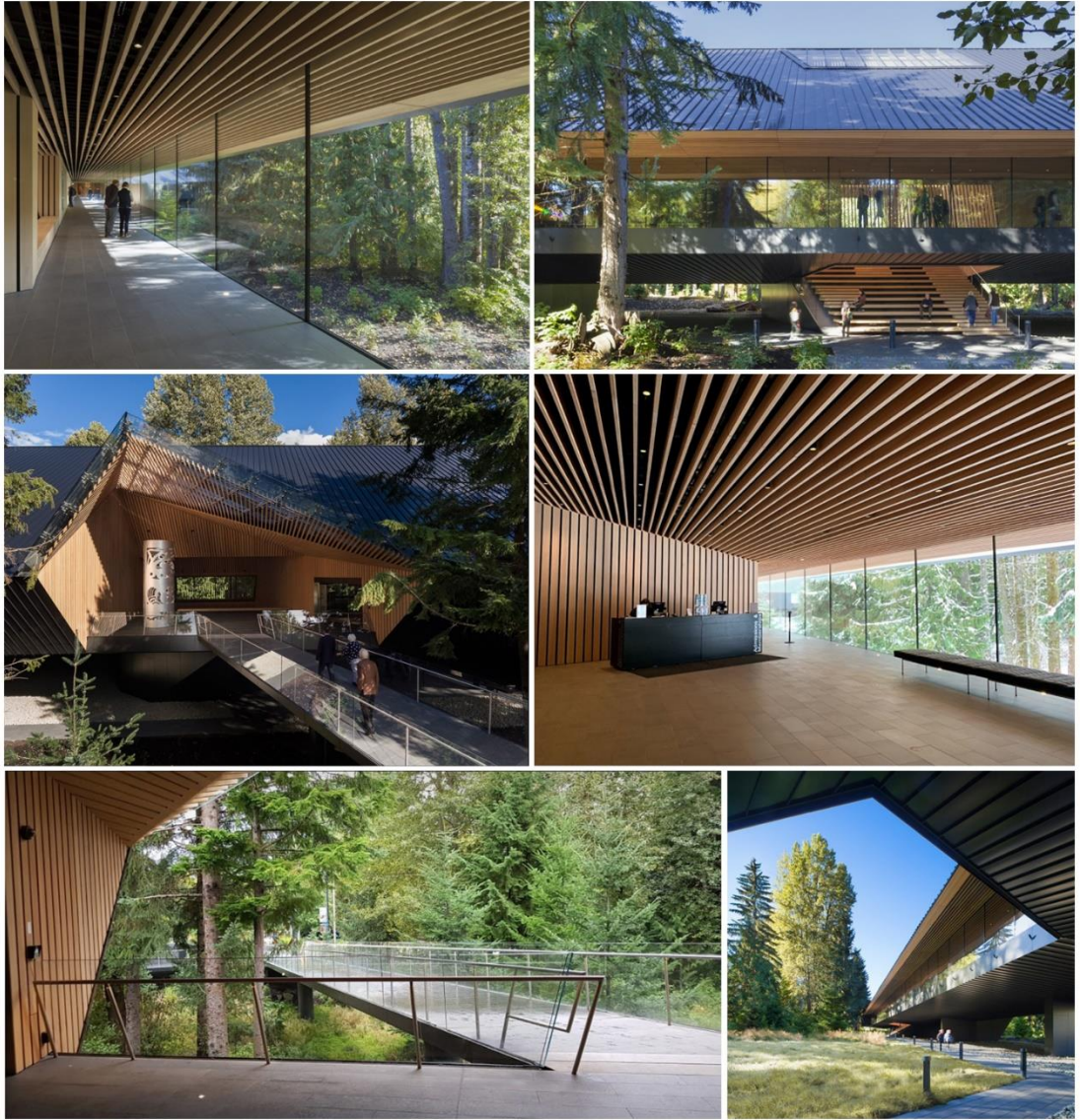
Audain Sanat Müzesi, British Columbia, Whistler'da bulunan, 18. yüzyılın sonlarından günümüze Britanya Kolumbiyası'nın sanatı da dahil olmak üzere Michael Audain'in kişisel sanat koleksiyonunu barındırmak ve sergilemek için inşa edilen 5,203 m² alana sahip özel bir müzedir. Galeriler, tarihi yerli maskelerinin yanı sıra Kanada'nın en önemli savaş sonrası sanatçılarından bazılarının (Jack Shadbolt, EJ Hughes, Gordon Smith gibi) eserlerini ayrıca uluslararası saygın çağdaş sanatçılarından bazılarının (Rodney Graham, Stan Douglas vd.) eserlerini içeren Britanya Kolumbiyası'nın görsel tarihini sunan bir eser koleksiyonu sergilenmektedir.



Resim 3-24: Audain Sanat Müzesi, Kanada (Url-22).

Müzenin tasarımı, üç önemli etken dikkate alınarak tasarlanmıştır. İlk etken, hem Michael Audain'in koleksiyonunun kalıcı sergisine hem de bu koleksiyonla yan yana, Kanada' ve dünyanın her yerinden gelen her türden geçici sergiye ev sahipliği yapma ihtiyacıdır. İkinci etken, ormanlık bir alanda olmasının yanı sıra, Fitzsimmons Deresi'nin taşkın yatağı içinde yer alan Whistler'daki zorlu bir bölgede yer almasıdır. Üçüncü etken ise, Whistler'a özgü olan ve yıllık ortalama yaklaşık 5 m biriken kar yağışıdır.

Müze yoğun ormanlık bir alanda yer aldığından, yapıyı tamamlamak için doğal bir seçim yapılmış ve ahşap kullanılmıştır. Müzenin tasarımı, kamusal alanlarını ve galerilerini çevreleyen orman içinde doğrusal bir formda şekillendirilmiştir. Yapı, yerden bir kat yükseltilmiştir ve ofisler, sanat deposu ve geçici sergi galerileri içeren dik eğimli panelli ahşap bir çatı ile kaplanmıştır. Dik çatı, kar dökülmesine yardımcı olur ve termal koruma sağlar.

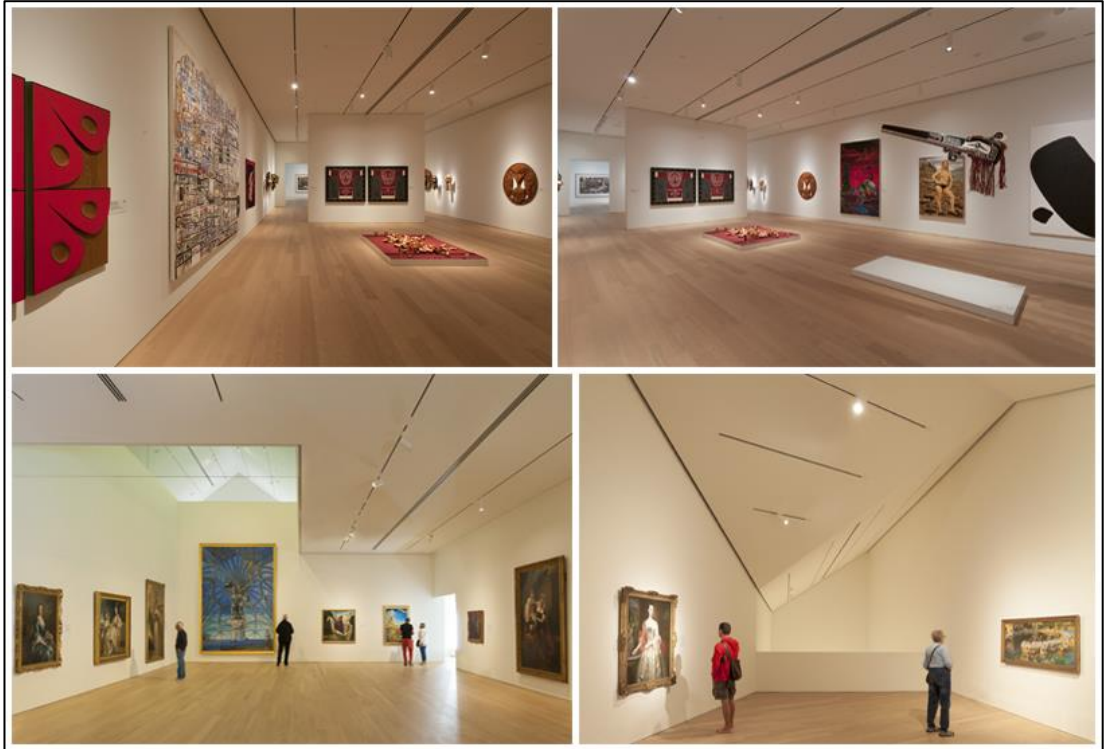


Resim 3-25: Audain Sanat Müzesi (Url-22).

Yapının tasarımı ve yerleşimi, Whistler' den müzeye ve Fitzsimmons Creek Parkı'na kadar halka açık bir yaya bağlantısı oluşturarak geri kazanılmış bir orman

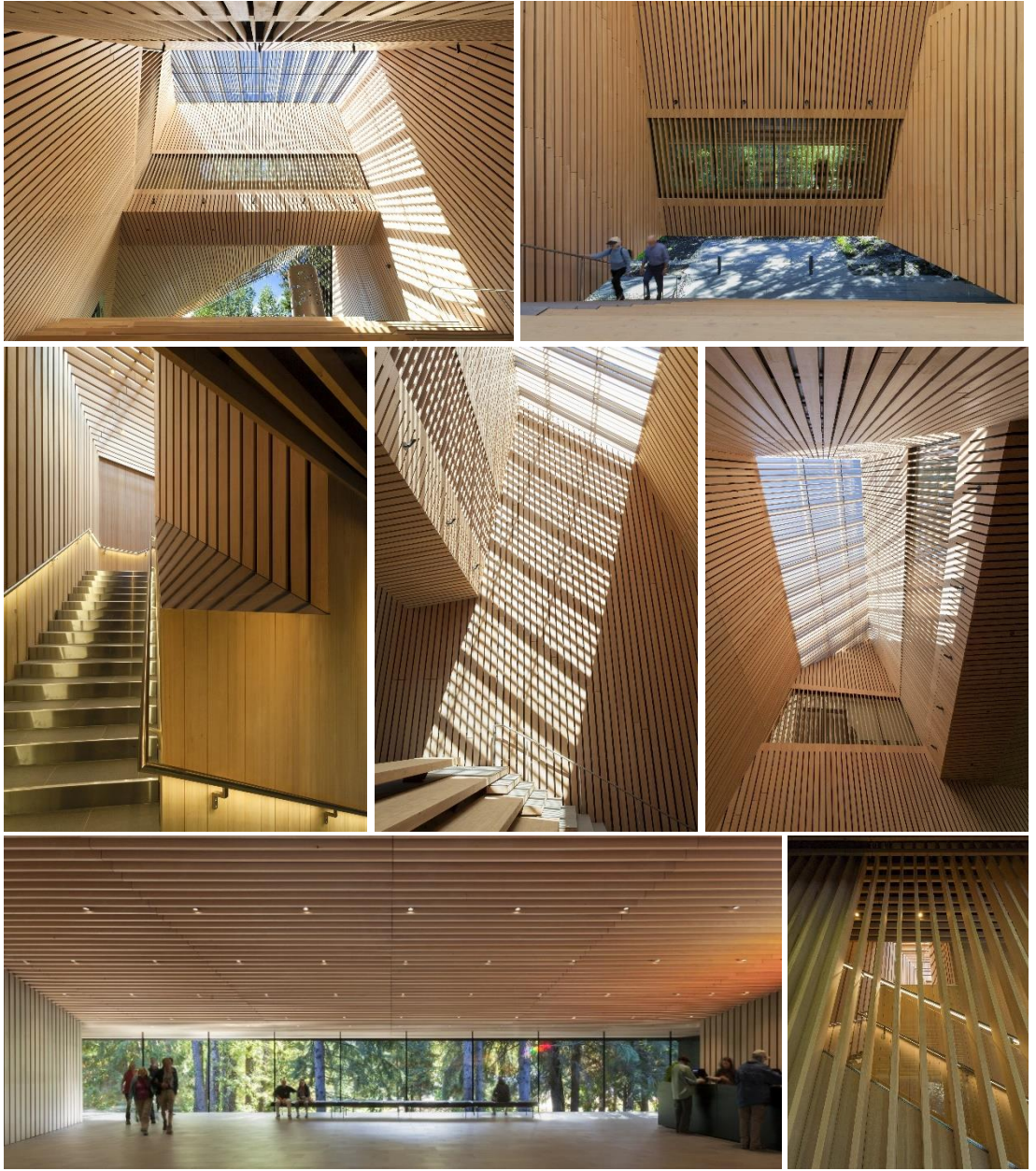
alanına konumlanmıştır. Müze girişine, Blackcomb Way yolundan ormanın içine giden bir köprü ile ulaşılır. Buradan ormanlık alana da inerek devam edilebilmekte ya da müze lobisine ve etkinlik alanına girilebilmektedir. Müzeden içeri girdikten sonra, ziyaretçiler önce kalıcı koleksiyonu içeren galerilere ardından geçici sergileri içeren galerilere erişmek için ormanlık alana bakan camlı bir yürüyüş yolunda ilerlerler.

Yapının minimal iç mekanları, içindeki sanatı ve çevresindeki doğal peyzajı ön plana çıkaracak şekilde tasarlanmıştır. Ana giriş, geniş bir merdiven dizisinin sağında bulunan ve dışarıdaki ağaçların manzarasına sahip uzun bir panorama penceresine sahip olan müze lobisine açılmaktadır. Kat planını tasarlarken mimarlar bir ikileme karşı karşıya kalmışlardır. Bir yandan ziyaretçilere doğa manzaraları sunulmak istenirken; diğer yandan sergilenen eserler gün ışığına maruz bırakılmak istenmemiştir. Bu nedenle "beyaz küpler" şeklinde oluşturulan sergi odaları, binanın ortasında yer almakta ve müzenin nehir tarafındaki paralel camlı bir koridordan ulaşılmaktadır. Böylece hem kalıcı hem de geçici sergi alanlarındaki galeri iç mekanları, minimal ayrıntıya sahip kapalı beyaz hacimler olarak tasarlanmıştır.



Resim 3-26: Audain Sanat Müzesi Galeri İç Mekânları (Url-23).

Dış cephenin formu, L şeklinde uzun bir hacim olarak tasarlanmış ve koyu renkli bir metal ile kaplanmıştır. Girişlerde ve diğer açıklıklarda ise ahşap kaplama kullanılmıştır. Lineer ahşap özelliği, yapının çevresi boyunca hem giydirme hem de alt yüzeylerde, uzun cam duvarlarda, dışarıdan görülebilen iç duvarlar ve tavanlarda kullanılmıştır. Dışarıdan görülebilen iç mekandaki kamusal alanlar, girişler ile aynı ahşapı kullanarak ziyaretçilere sıcak, sakin bir estetik sağlamak istenmiştir (Resim 3-27).



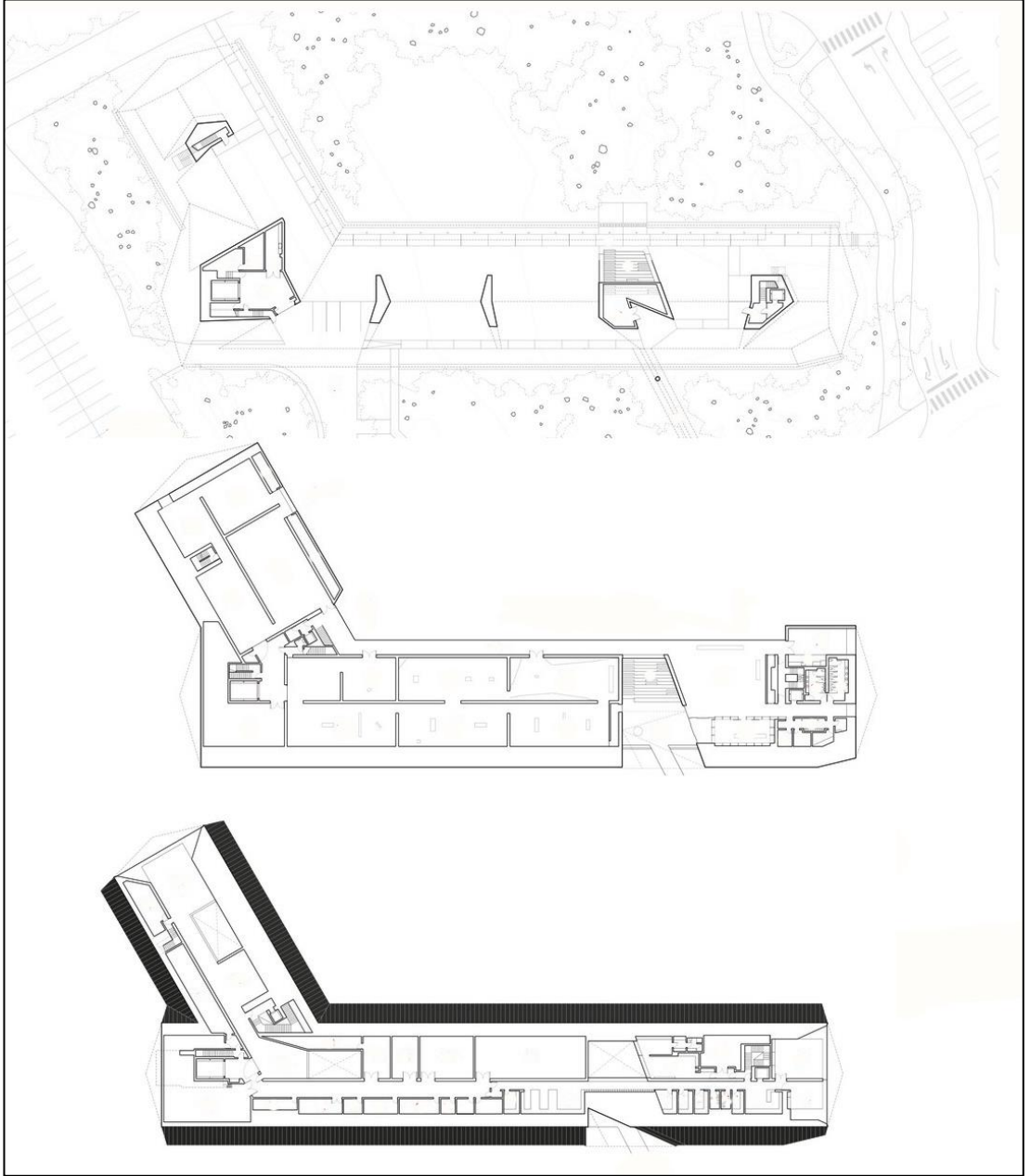
Resim 3-27: Audain Sanat Müzesi Ahşap Kullanım (Url-22).

Ana kattaki galeri alanı toplam 1.300 m² ' lik bir alana sahiptir. Ana kattaki galeride Michael Audain' in kişisel sanat koleksiyonu ve British Columbia' nın tarihi yerli maskelerinden oluşan kalıcı bir sergi sunulmaktadır. Üst kat ise geçici sergilerin yanı sıra büyük çatı pencerelerinin doğal ışık sağladığı depo odaları, atölyeler ve müze yönetim ofisleri için 550 metrekarelik bir alana sahiptir. Müze mekanları dizisi, kuzeydoğu üçgen duvar ucunda, ziyaretçilerin son bir kez orman manzarasının keyfini çıkarabilecekleri bir seyir salonunda sona ermektedir.



Resim 3-28: Audain Sanat Müzesi Seyir Salonu (Url-24).

Yapının eğimli çatısı, yıllık ortalama 5 metre kar yağın bir iklimine dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda yapının kendisi, taşkın bir dere yatağının bataklık zemininden korunmak için yerden bir kat yukarı inşa edilmiştir. Çatı yapısı, 2,4 metre genişliğinde ve 16,5 metre uzunluğa kadar prefabrike endüstriyel ahşap yapı elemanları (LSL/PSL) kullanılarak inşa edilmiştir. Çatı kaplaması için lamine yonga ahşap (LSL) ve kirişleri için paralel yonga ahşap (PSL) kullanılmıştır. Çelik yapının hızlı bir şekilde kapatılmasından bağımsız olarak, Paneller, şantiyeye ulaştıktan ve yerine kurulumundan sonra her türlü hava koşulu için atölyede imalatı sırasında ahşap çatı panellerine su yalıtım membranı uygulanmıştır.

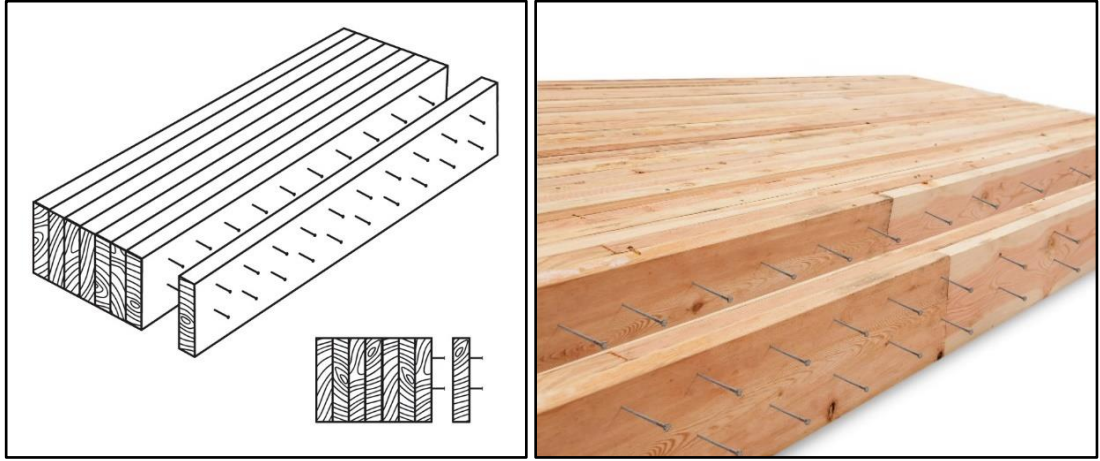


Şekil 3-20: Audain Sanat Müzesi Kat Planları (Url-25).

3.7. ÇİVİLİ LAMİNE AHŞAP / NLT (Nail Laminated Timber)

Çivili lamine ahşap (NLT), geniş yüzeyleri yan yana olacak şekilde istiflenerek, geniş düz paneller oluşturacak şekilde birbirine çivilerle ya da vidalarla mekanik olarak sabitlenmesiyle oluşturulan yapı elemanlarıdır. Ahşap teknolojisinin ve imalatının ilerlediği günümüzde, yapılarda ahşabın kullanımının artmasıyla birlikte

NLT' nin kullanımını da artmıştır. Buda yapılarda karışık mimari formların çözümünde NLT ürünlerinin esnek çözümler sağlamasından dolayı tercih edilmesini sağlamıştır. Çivili lamine ahşabın yüzüne ahşap yapısal panel kaplama (kontrplak veya OSB) eklenerek, oluşturulan hibrit NLT ürünleriyle yapısal bir diyafram sağlamaktadır. NLT' ye yeterince çivilenmiş kaplama, yanal kuvvetlere direnme kabiliyetine sahip bir diyafram oluşturabilmekte ve ayrıca neme maruz kalması durumunda sistemin kuru kalmasına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca panel kaplama eklenmesiyle ürün duvar elemanı olarak da kullanılabilir.



Resim 3-29: Çivili Lamine Ahşap (Url-26), (Url-27).

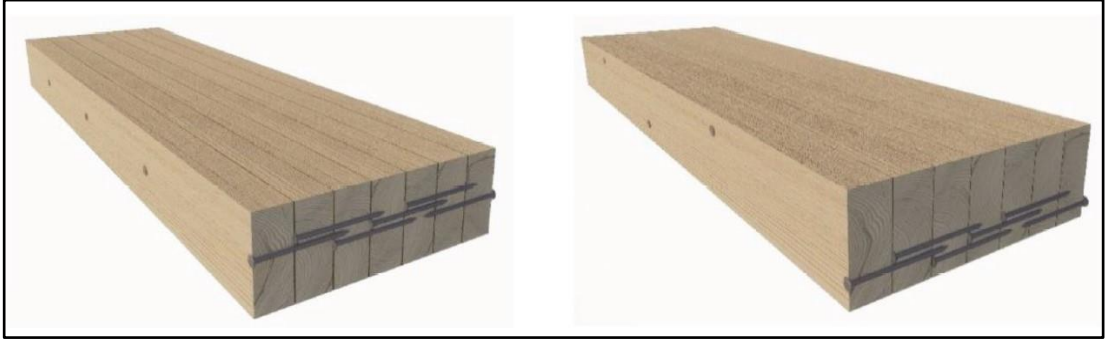
NLT, proje sahasında veya daha kontrollü (fabrika veya atölye) bir ortamında üretilebilir. NLT herhangi bir boyut, tür veya sınıftaki ahşaptan oluşturulabilir ve desteğinin şekline göre (yani kavisli çatılar, vb.) oluşturulabildiğinden, mimari ve yapısal seçenekleri çoktur. NLT üretimi sırasında ahşap elemanlarının nem içeriği genellikle %12- 16'dır.

İnşaat sırasında NLT paneller neme maruz kalırsa demir lekesi oluşabileceğinden, ahşap lamineleri birbirine tutturmak için galvanizli çiviler kullanılmalıdır. Ayrıca NLT' yi desteklere bağlamak için kullanılan vidalar da galvanizlenmelidir.

Tarihsel olarak, NLT öncelikle sağlam döşemeler gereken depoların ve diğer büyük yapıların inşasında zemin döşemesi olarak kullanılmıştır. Daha sonra ise Kuzey

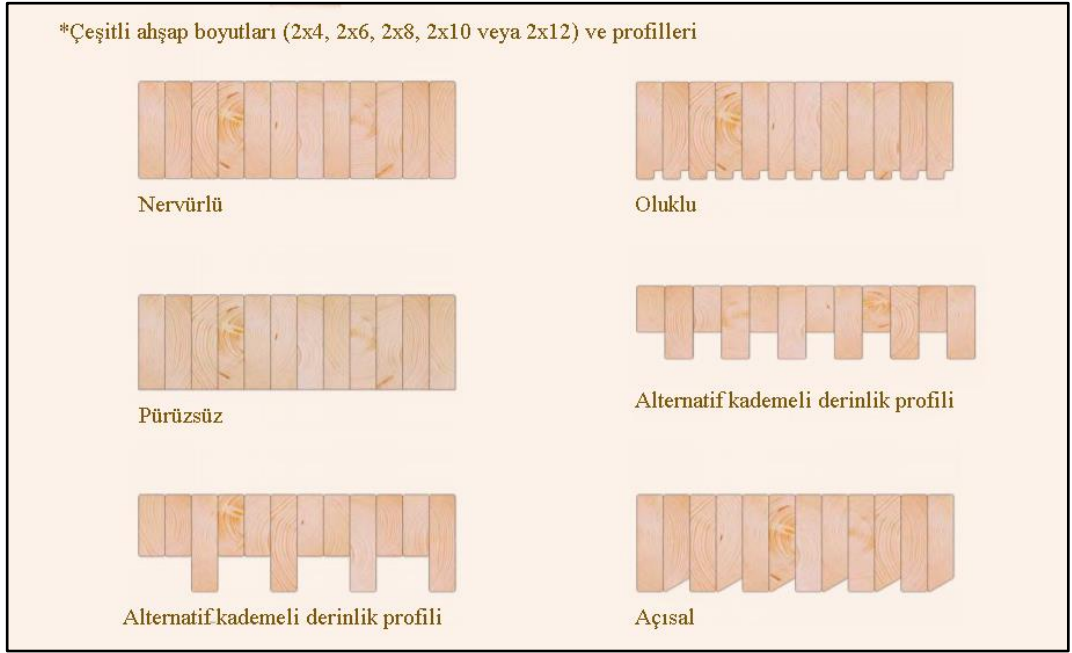
Amerika'da, 19.yy başlarından ortasına kadar birçok köprü döşemesi çivili lamine ahşap (NLT) ile inşa edilmiştir. Son zamanlarda ise NLT endüstriyel ve ticari yapılarda diğer malzemelerin yerine kullanılabilir alternatif bir ürün olmaktadır.

NLT, döşemelerde ve çatılarda kaplanabilse de, genellikle önemli bir tasarım öğesi olarak açıkta bırakılarak kullanılmaktadır. Tipik olarak genellikle zemin ve çatı için kullanılsa da ek olarak duvar, asansör ve merdiven boşluğu olarak da kullanılabilir. Ayrıca farklı profillerinin olması tasarım esnekliği sunar. Ahşap panellerin açıkta kalan yüzeyi, istenen estetiğe bağlı olarak düz, nervürlü ve farklı kenarlara sahip olabilmektedir. İster düz ister eğimli yapı elemanlarında olsun, NLT'yi oluşturan bileşenler nihai ürün içinde ayırt edilebilir kalır ve tasarımcıya yüzeyin görünümünü tanımlamada önemli ölçüde esneklik ve özgürlük sağlar.



Resim 3-30: NLT ürünü, doğrusal (solda) ve kademeli (sağda) çivileme örneği (Gong, 2019).

Kanada Standardı olan “Engineering Design in Wood” göre, Çivili lamine ahşabı üretmek için bağlantı gereksinimlerini şu şekilde belirtir; çivilerin iki bitişik bileşeni geçmesi için yeterince uzun olması ve en azından üçüncünün yarısına kadar olması gerekir (Resim 3-30). Örneğin, 38 mm kalınlığında bileşenleri sabitlemek için 102 mm uzunluğunda çiviler ve 64 mm kalınlığında bileşenler için 152 mm uzunluğunda çiviler kullanılmalıdır. (Gong, 2019). Yine Gong' a göre, NLT' nin seçilmesinin nedenleri şunlardır: Yerinde üretim için çok uygundur; geçici veya sürekli dinamik kuvvetin (örneğin köprü tekerlek yükleri ve pistonlu endüstriyel makineler) neden olduğu titreşimleri çiviler yardımıyla sönmüleyebilmiştir ve iyi yangın performansına sahip olmasındır.



Resim 3-31: NLT, Farklı Profil Türleri (Url-28).

NLT' nin birçok avantajı vardır bunlardan biri de NLT' yi üretmek için herhangi bir ağaç türü kullanılabilir; türlerin mevcudiyeti bölgeye göre değişiklik gösterir ve görünümde farklı renk ve çeşitlilik sunar. Örneğin, köknar, daha sarı veya beyaz görünen çam ile karşılaştırıldığında daha kırmızı veya turuncu görünmektedir.



Resim 3-32: NLT, Farklı renk seçenekleri (Perkins + Will, 2014).

3.7.1. T3 Ofis Binası / Minneapolis, ABD

Minneapolis'in North Loop'unda bulunan 7 katlı T3 ofis binası, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en büyük ahşap yapıdır. Binanın tasarımı, çevresel bağlama dikkat edilerek yapılmıştır. T3'ün transit odaklı olması için ideal bir konumda bulunmaktadır. Yapının bulunduğu konum banliyö treni, hafif raylı sistem, bisiklet ve yaya geçit sistemlerine yakındır.



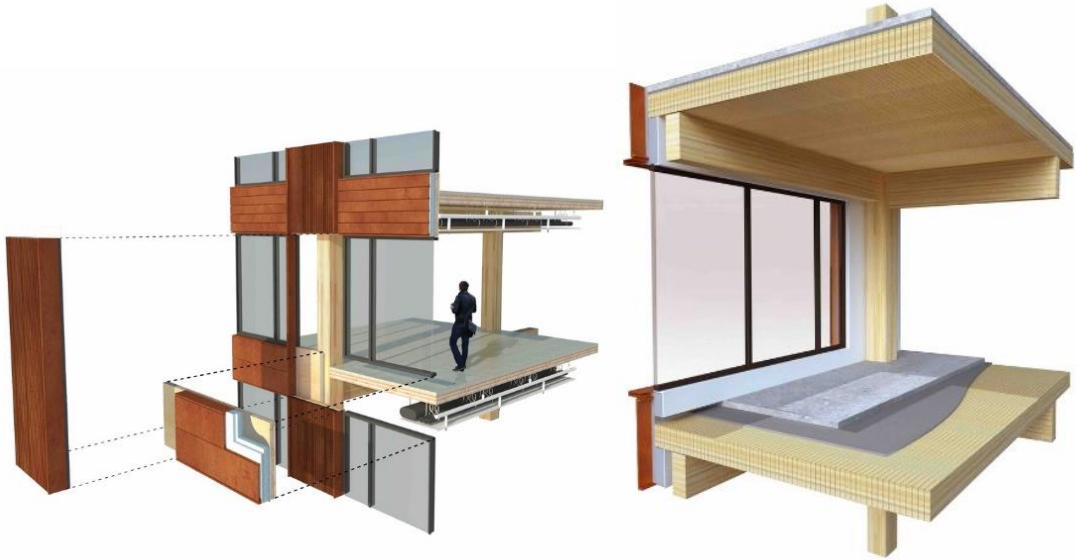
Resim 3-33: T3 Ofis Binası Konumu (Url-29).

'Ahşap, Teknoloji, Taşıma' (Timber, Technology, Transit), anlamına gelen 'T3' yapısı, 224.000 m² ofis alanı sunmaktadır. Ahşap kullanımı bina genelinde kolonlar, kirişler ve döşeme panellerinde kullanılmıştır. T3'ün tüm ahşap yapısı kasıtlı olarak açıkta bırakılmıştır. T3'ün modern teknolojik yaklaşımı, çatı, zeminler, kolonlar ve kirişler ve mobilyalar için mühendislik ürünü ahşap bileşenleri (başlıca glulam ve çivi lamine ahşap) kullanır. NLT kullanılan ahşabın önemli bir kısmı, bu modern malzemeler, ahşabın sıcaklığını ve güzelliğini iç mekâna getirir ve bina sakinleri için sağlıklı bir iç ortam sağlar. T3 Ofis Binası için NLT seçilmesinde, yapısal avantajlar, düşük maliyet ve daha hızlı tedarik süresi etkili olmuştur.

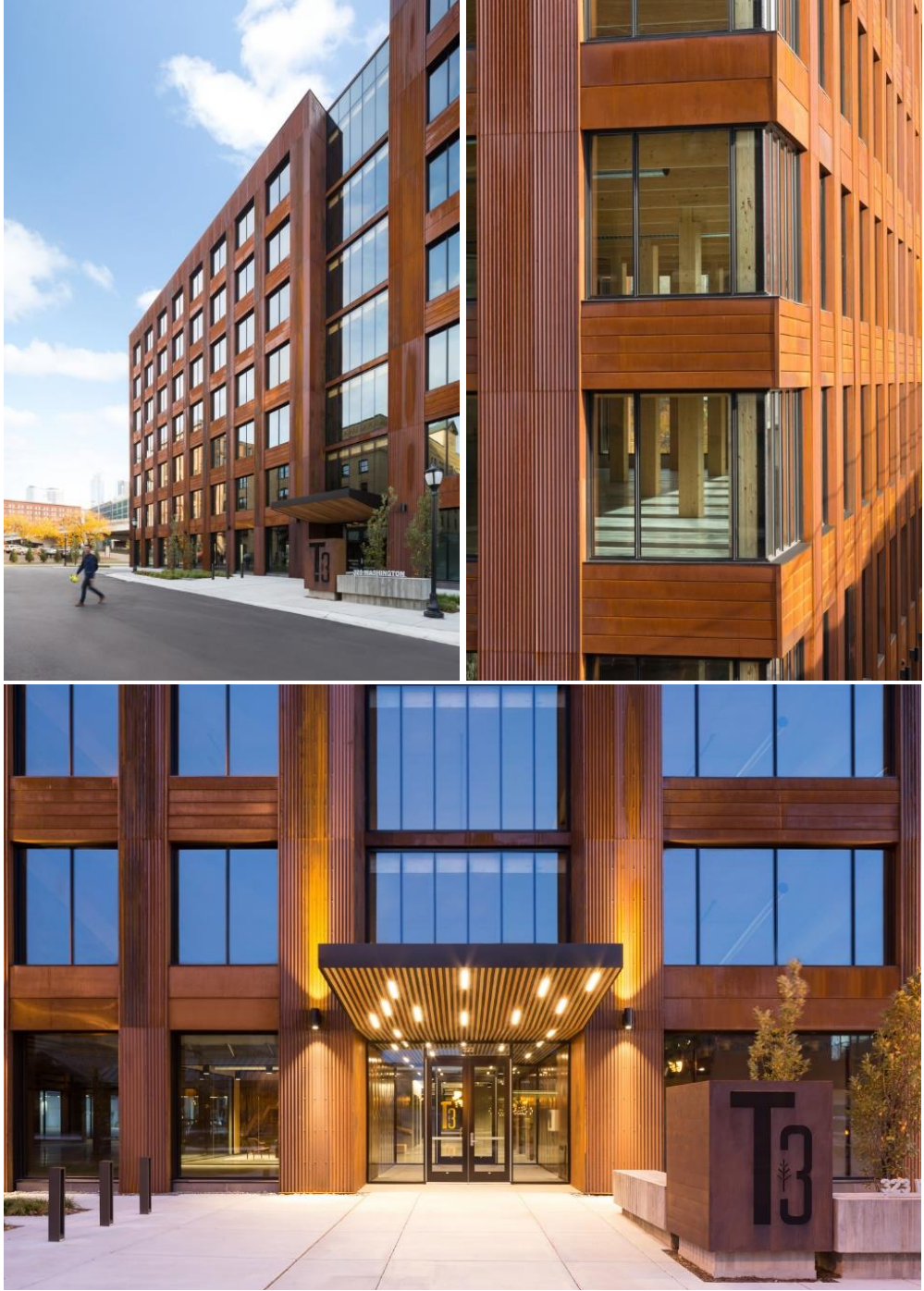
Ahşap malzeme kullanımı ile, T3 yapısı, geleneksel çelik çerçeveli veya betonarme yapılarına göre daha hızlı inşa edilmiştir. 10 haftadan kısa bir inşaat programı süresince, 16.500 m² ahşap yapı inşa edilmiştir (haftada ortalama 2800 m² zemin alanı).

Aynı zamanda, benzer çelik veya beton yapılardan daha hafiftir, kazı ve temellerin derinliğini ve kapsamını azaltır. Ek olarak, binanın ahşap yapısal sistemindeki gömülü karbon, Minneapolis şehir merkezinin çoğunda ve North Loop'ta bulunan geleneksel binalarda bulunandan daha düşüktür.

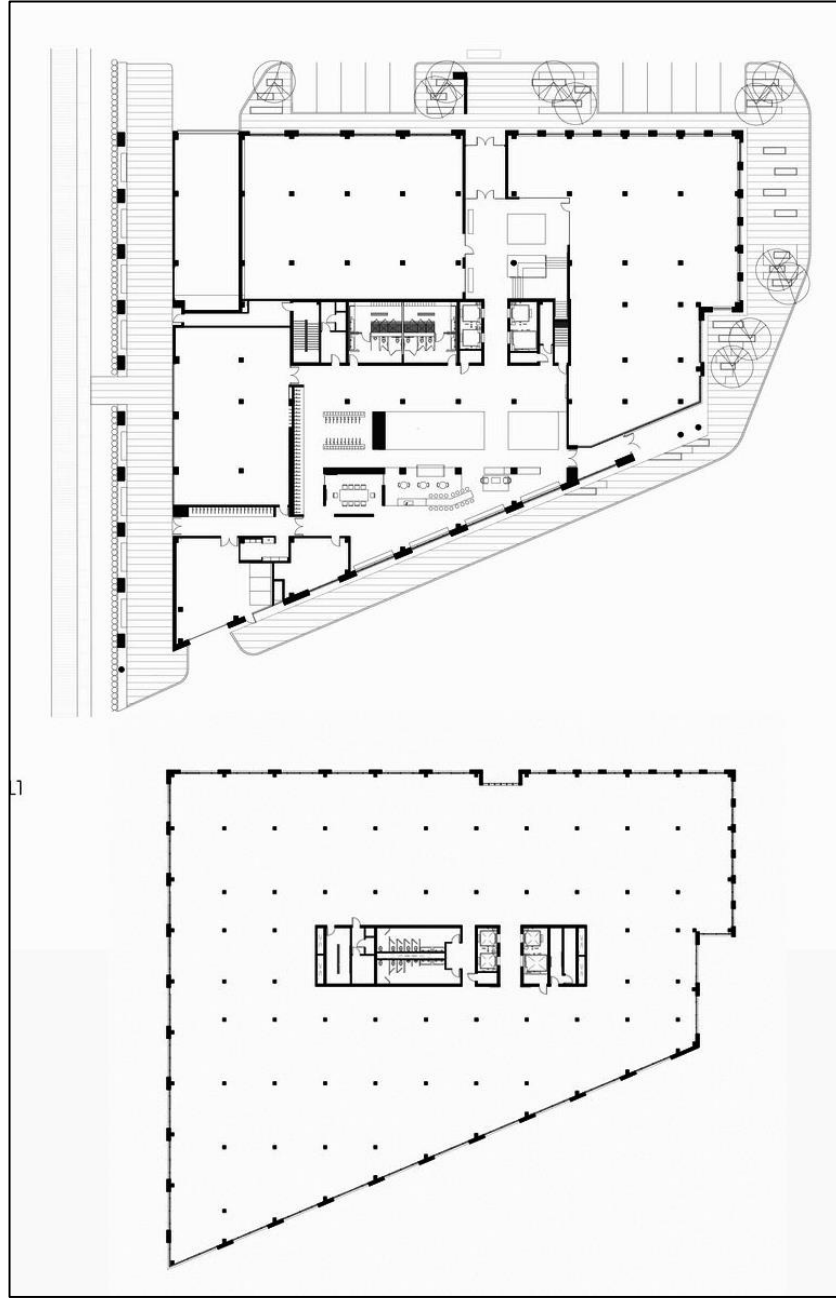
Sade bir tasarım amaçlanan bu yapının cephe tasarımı için, yapının bulunduğu North Loop depo binaları çevresindeki tarihi yapılardan faydalanılmıştır. Uzak bir mesafeden yapının cephesi, kolon ızgarası ve tekrarlayan döşeme panelleri ile bina, yakın çevresindeki tarihi ticari binalara benzemektedir. Ancak yapısal ve estetik olarak farklı performansı diğer yapılardan ayrılmaktadır. T3 yapısı çevresinde bulunan tuğla yapıları ile uyumu açısından cepheye tuğla rengine benzeyen Corten çelik malzemesi uygulanmıştır. Böylece ağırlık büyük oranda azaltılmıştır. Zemin kat betonarme olup diğer altı katı ahşap malzemeler ile inşa edilmiş ahşap betonarme hibrit sistemli bir yapıdır. T3'ün taşıyıcı sistem tasarımında; 6,10 x 9,14 m ızgara sisteminde kolonlar, kolonlar arasında tek yöne çalışan kirişler ve kirişler arasında döşeme panelleri kullanılması tercih edilmiştir. T3' de NLT döşeme panelleri, glulam kolon kiriş konstrüksiyon ile birleştirilmiştir (Brownell, 2016).



Resim 3-34: T3 Ofis Binası Kesit (Url-29).



Resim 3-35: T3 Ofis Binası Giriş ve Cephe (Url-29).



Şekil 3-21: T3 Ofis Binası Kat Planları (Url-29).

3.8. KAVELALI LAMİNE AHŞAP / DLT (Dowel Laminated Timber)

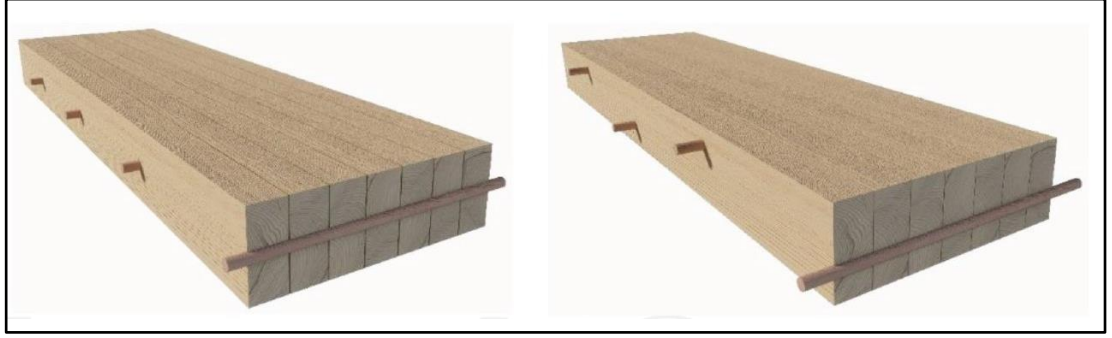
Yumuşak ahşap levhaları birbirine bağlamak için sert ahşap dübellerini kullanma konsepti, 1990'larda İsviçre'de tasarlanmıştır. Ahşap mühendisliğine olan katkısıyla bilinen bir mühendis olan Profesör Julius Natterer, 1970'lerde ve 1980'lerde

çivili lamine ahşaba (NLT / brettstapel) Avrupa'da yeniden kullanılmasına öncülük etmiştir. Çünkü bu verimli inşaat yönteminin güzel, düşük karbonlu, sağlıklı binaları inşa etmek için hızlı ve kolay yapılabilecek bir yöntem olduğuna inanmasıdır. 1990'ların başında, DLT / dubelholz bir İsviçre firması tarafından geliştirilmiştir. Kavelalı lamine ahşabı (DLT), sadece ahşap kullanılması, CNC işlenebilir ve panel üretimi otomatik makinelerle mümkün olmasından dolayı her yönden NLT' den üstün bir ürün olarak görmüşlerdir (Structure Craft, 2019).



Resim 3-36: Kavelalı Lamine Ahşap (DLT), (Url-30).

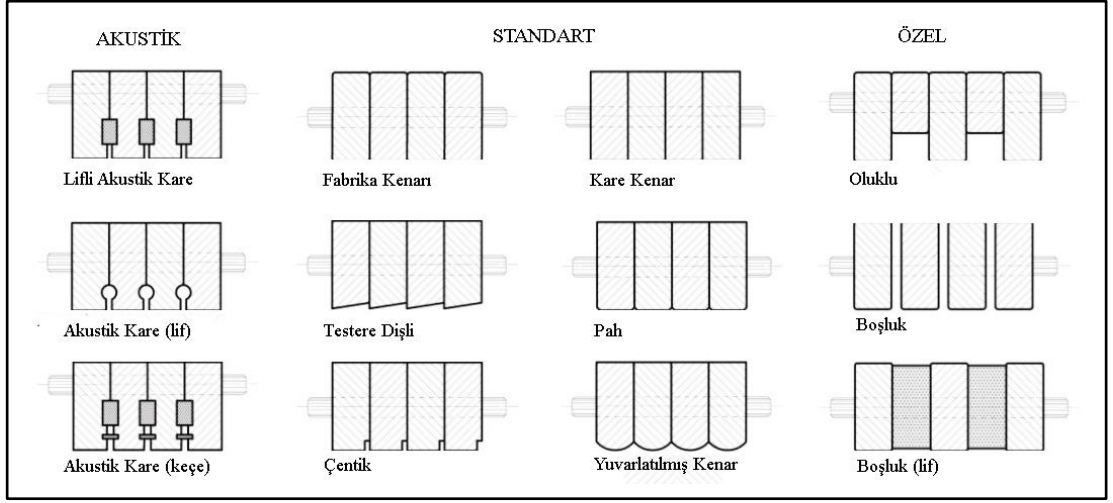
Kavelalı lamine ahşabın (DLT) yapımı, çivili lamine ahşabın (NLT) yapımına benzer fakat bağlantı elemanları farklıdır. DLT' de ahşap bileşenleri birleştirmek için, NLT' den farklı olarak çiviler yerine sert ahşap dübeller kullanılmaktadır (Resim 3-37). DLT, metal bağlantı elemanları, çiviler veya yapıştırıcı içermeyen (çok az miktarda içeren parmak eklemli hariç), tamamı ahşap olan tek lamine ahşap yapı elemanıdır. DLT panelleri CNC makineleri kullanılarak kolayca işlenebilir ve önceden entegre edilmiş akustik malzemeleri, elektrik kanalını ve diğer hizmetleri de içerebilen yüksek toleranslı bir panel oluşturabilir. Kavelalı lamine ahşap (DLT), yaklaşık 4 cm kalınlığında ve 9, 14 ya da 18,5 cm genişliğinde, NLT üretiminde olduğu gibi, ahşap bileşenler istiflenip ahşap dübellerle sabitlenerek üretilmektedir. DLT üretimi sırasında ahşabın nem içeriği %19 veya daha azdır.



Resim 3-37: DLT ürünü, doğrusal (solda) ve kademeli (sağda) sabitleme örneği (Gong, 2019).

Bir lamine ahşap yapı ürünü olarak DLT' ye özgü olan çok çeşitli profiller, panelin alt yüzeyine uygun maliyete entegre edilebilir. DLT, yapısal olarak parmak eklemlili, bir kalıplıyıcıdan (ahşabı kesmek ve şekillendirmek için bir makine) geçirilen ve büyük DLT panellerine lamine edilmektedir. Ürün, yüksek güçlü hidrolik pres kullanılarak paneller halinde prefabrike edilir. Sert ahşap dübeller ahşap bileşenlerin geçme deliklerine yerleştirilir ve katmanlı paneller birbirine preslenir. Bu işlemlerin hepsi fabrika ortamında yapılmaktadır. Ürün, ürünü birbirine sürtünerek oturtmak için yumuşak ahşap ve sert ahşap bileşenlerin farklı nem içeriğini kullanır. Üretimden sonra nemdeki farklılıklar dengelenir bu da; büzülen panellerin ve şişen dübellerin birbirine kuvvetli bir sürtünme sağlayarak çivi veya yapıştırıcı gerekmeden paneller oluşmasını sağlamaktadır.

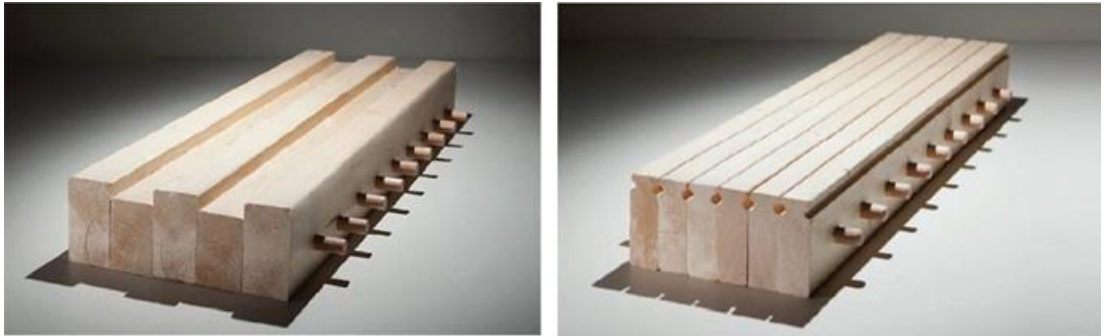
DLT' de, çentik, oluk veya kare kenar gibi farklı estetik ve akustik profiller üretmek için bir kalıplıyıcıdan geçirilerek çeşitli estetik görünümler oluşturmak için alternatif ahşap profiller kullanılır. Tasarımlarda ahşabı açıkta tutarken sesi absorbe etme hedefine ulaşabilmek için bir akustik profil üretilebilmektedir. DLT panelleri, kesiminin ve tasarımının bir parçası olarak düzgün bir şekilde gizlenmiş mekanik hizmetleri ve ses emici yalıtımı da barındırabilir. Sesi emmek için akustik bir oluğun içinde lifli yalıtım malzemesi kullanılır.



Şekil 3-22: DLT, Farklı Profil Türleri (DLT Profile Handbook, 2017).

Genellikle yüksek yoğunluklu sert ağaç türlerinden (meşe gibi) yapılan ahşap dübeller, tipik olarak 19 mm çapa ve yaklaşık %6-8 nem içeriğine sahiptir. Dübellerle aynı çapa yakın lamine ahşaplara açılan deliklere dübeller, 300 mm aralıkla lineer veya kademeli bir şekilde hidrolik pres yardımıyla yerleştirilir. 7 ile 10 adet ahşabı birleştirebilir, bu işlem DLT' nin NLT' ye göre üretiminde daha verimli ve avantajlı olmasını sağlar (Gong, 2019).

Prefabrike DLT paneller tipik olarak 18 m'ye kadar bir uzunluğa, herhangi bir artışta 4,3 m'ye kadar genişliğe ve 76 ila 349 mm arasında değişen bir kalınlığa sahiptir; ancak panel boyutu genellikle nakliye kısıtlamaları ile sınırlıdır.

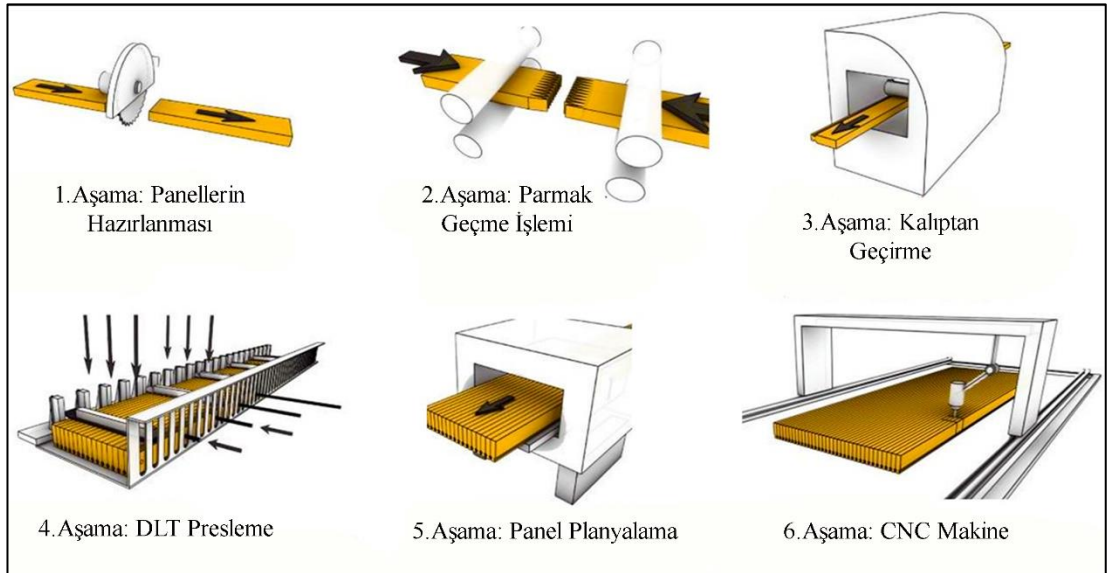


Resim 3-38: DLT' nin Uygulanmış İki Örnek Profili (StructureCraft, 2017).

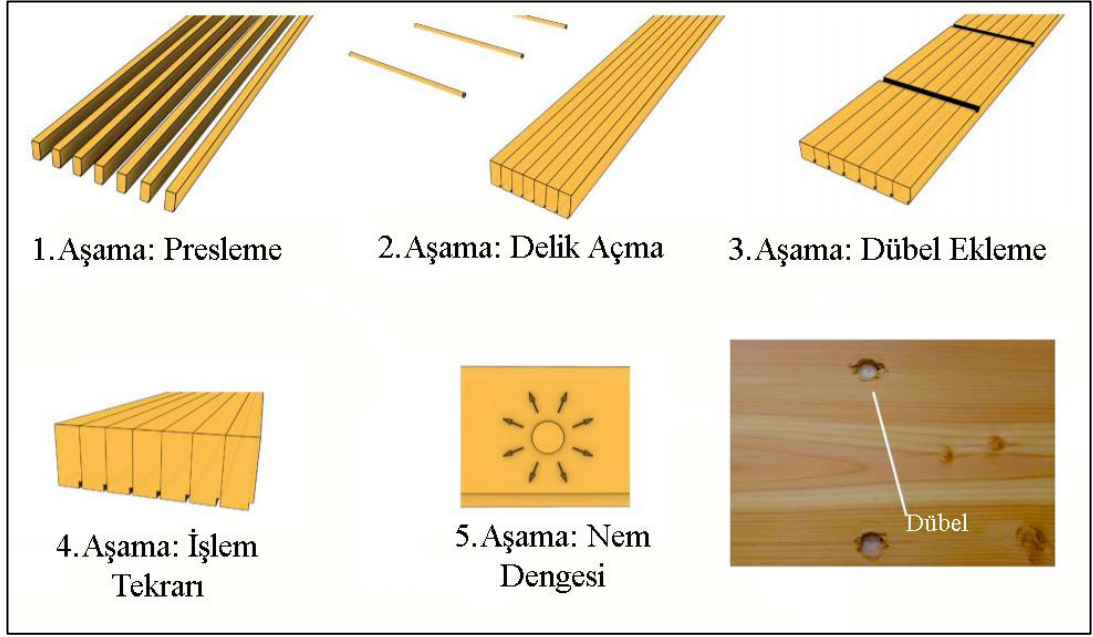
DLT, diğer endüstriyel ahşap ürünlerine benzer şekilde, ofis ve okullardan ticari ve kamu binalarına kadar çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır. Tarihsel olarak diğer ürünlerinden daha az yaygın olmasına rağmen kullanımı giderek artmaktadır. Duvar, zemin ve çatı konstrüksiyonu olarak kullanılabilir. Çivili lamine ahşaba (NLT) benzer şekilde, DLT' de merdiven ve asansör boşlukları olarak kullanılabilirdiği gibi eğimli çatı yapıları oluşturmak için bükülüp monte edilebilir.

DLT panellerin açıkta kalan yüzüne çeşitli kaplamalar yapılabilir. DLT paneller, diğer ürünlere benzer şekilde enine kesitleri azaltmak, açıklıkları artırmak ve gürültü aktarımını ve titreşimleri azaltmak için kullanılan hibrit bir sistem oluşturmak için betonla kaplanabilir.

DLT, çentik, oluk veya kare kenar gibi farklı estetik ve akustik profiller üretmek için bir kalıptan geçirilebilir. Çeşitli estetik görünüm oluşturmak için alternatif ahşap profiller kullanılır. DLT panelleri ayrıca, kesiminin ve tasarımının bir parçası olarak düzgün bir şekilde gizlenmiş mekanik hizmetleri ve ses emici yalıtımı da barındırabilir.



Şekil 3-23: DLT panel üretim aşamaları (DLT Handbook, 2017).



Şekil 3-24: DLT panel üretim aşamaları (Structure Craft, 2019).

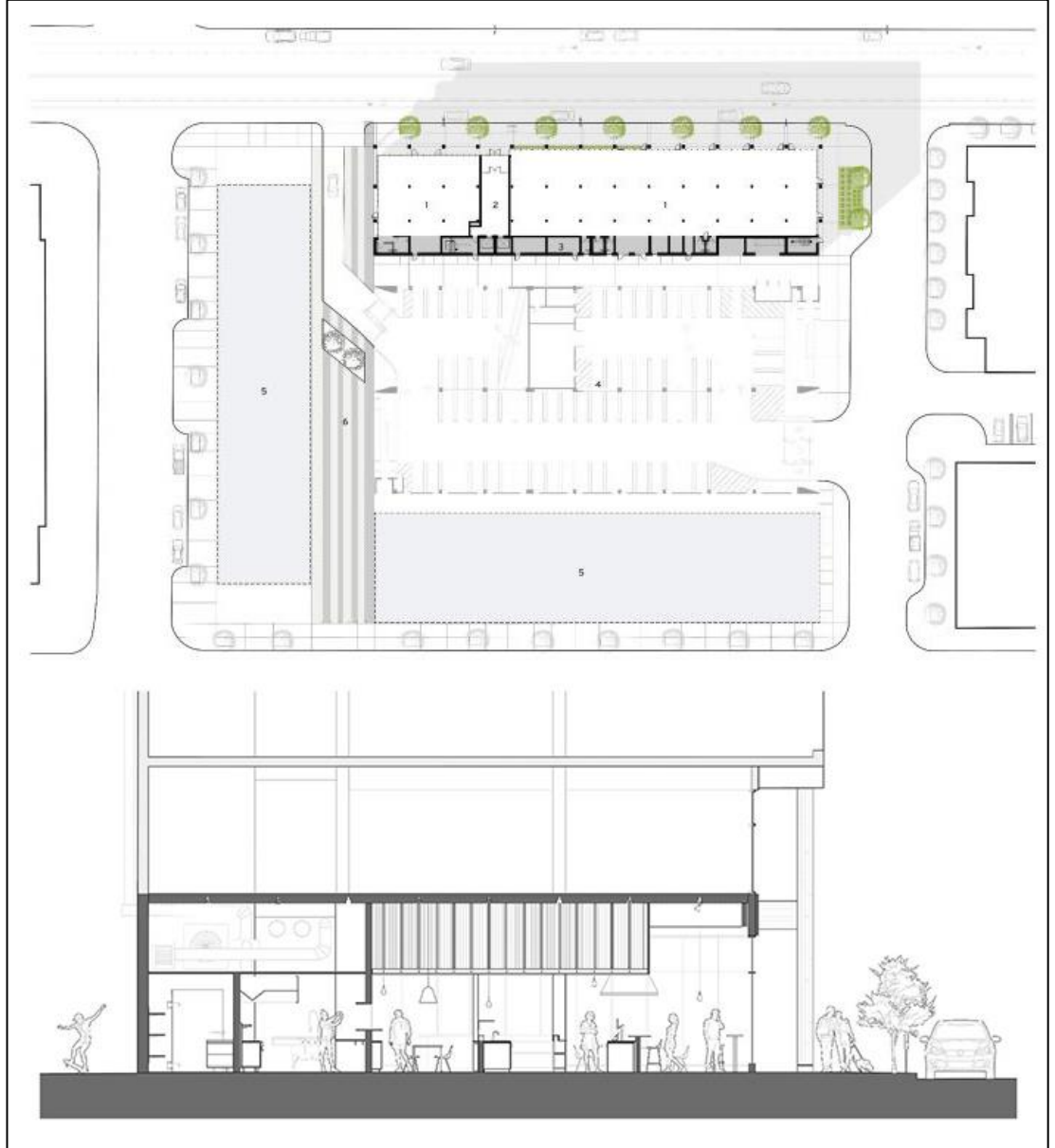
3.8.1. 111 East Grand / Des Moines, ABD

Des Moines Nehri'nin doğu kıyısında bulunan ve yapımı 2019 tamamlanan 111 East Grand, birçok ilkin yapısıdır. Des Moines'deki ilk spekülatif ofis yapısı olan 111 East Grand Office, belediye binasının yanında önemli bir konuma sahiptir.



Resim 3-39: 111 East Grand Konumu (Url-31).

111 East Grand, Kuzey Amerika'da yumuşak ahşap ve sert ahşap dúbeller arasındaki sürtünmeyle oturan bir baęa dayanan bir endüstriyel ahşap yapı elemanı olan ilk kavela lamine ahşap (DLT) kullanan çok katlı ofis yapısıdır. 4 katlı olan 6.000 m² lik yapı, zemin katında restoran ve ticari alanlar, diğer  katında ise ofis alanları bulunmaktadır.



şekil 3-25: 111 East Grand Plan ve Kesiti (Url-32).

Yapısal sistemi, Ladin glulam kolonlar ve kirişler, döşeme ve çatı güverteleri olarak görev yapan DLT (dübél lamine ahşap) panellerinden oluşur ve binanın güney kenarı boyunca bir prekast beton çekirdeğe bağlanır. Bir prekast beton çekirdeği, binanın güneyini işlevsel ve yapısal olarak destekler. Sistem, geleneksel inşaatın çok daha hızlı kurulabilen tamamen prefabrik bir üst yapı oluşmasını sağlamıştır. Proje yöneticisi, parça-takım yaklaşımının, yapının yedi haftada inşa edilmesi anlamına geldiğini ve inşaat programında tipik çelik veya beton yapıya göre altı hafta tasarruf edilmesini sağladığını söylemiştir.



Resim 3-40: 111 East Grand Cephe Malzeme Görünümü (Url-31).

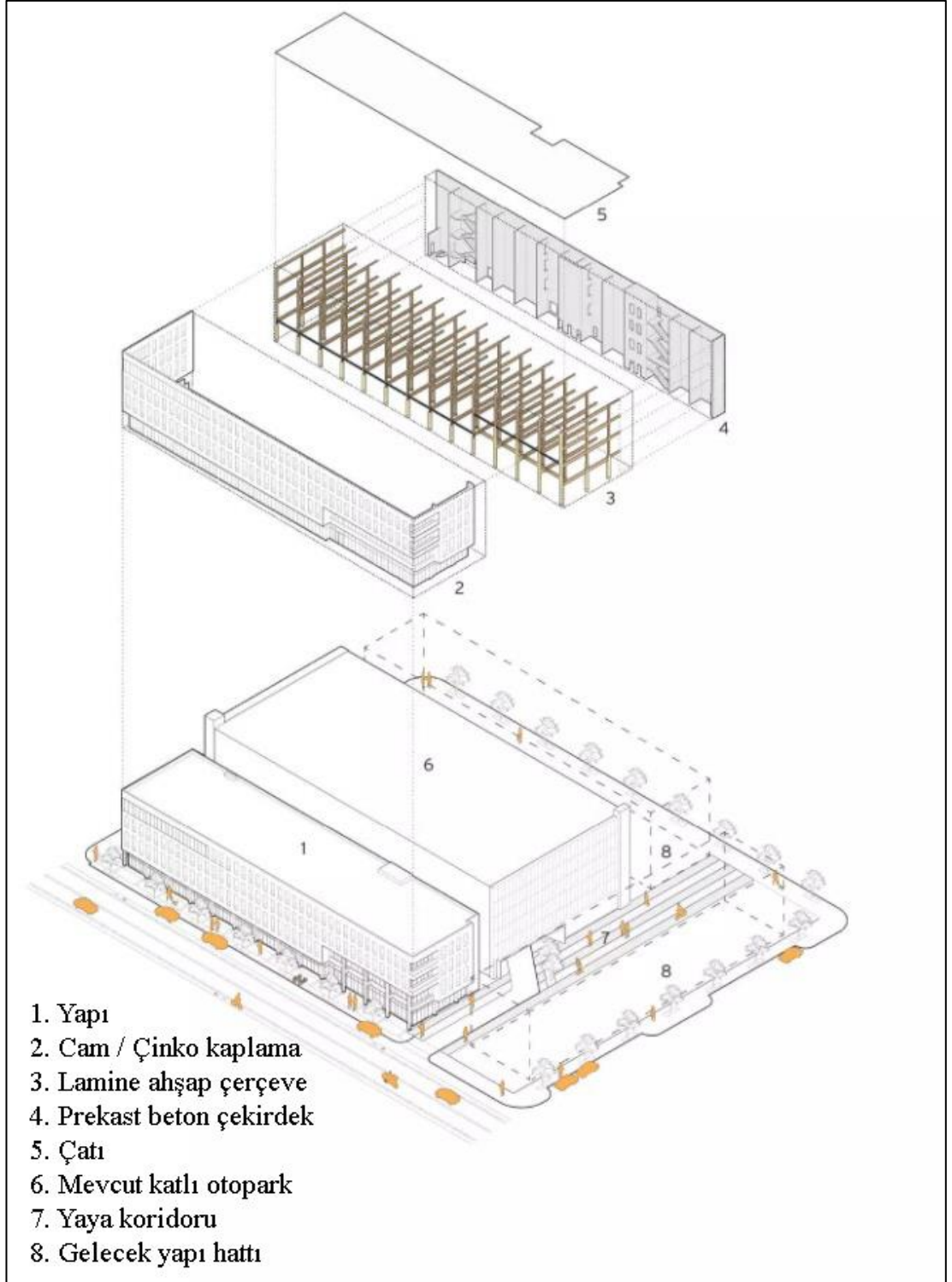
Ahşap konstrüksiyonun rafine estetiği, yapıda bir iç kaplama olarak açıkta kalmasını sağlamaktadır. Buda, hem kullanıcıyı iyileştirme çalışmalarını ve kimyasal olarak emprenye edilmiş yüzeylerin potansiyelini en aza indirirken, hem de mekân sakinlerine görsel, dokunsal ve koku alma uyarımı sağlayarak biyofilik tasarım sunmaktadır. Her yapısal bölmedeki çalıştırılabilir pencereler, doğal havalandırmaya izin verir. Batıdaki balkonlar şehir manzarasından yararlanmaktadır.

Kuzeydoğu köşesindeki ana girişte, iki kat yüksekliğinde doğal Accoya modifiye ahşap kaplı kolonlar ve taban, iç mekândaki açıktaki kalan ahşapla birbirini tamamlar. Yapının kuzey, doğu ve batı cepheleri, değişken kaplaması ışığı yakalayan ve cephe boyunca yumuşak gölgeler oluşturan siyah Zalmag panellerinden (Çinko, Alüminyum ve Magnezyum kaplamalı karbon çelik tabanlı panel) oluşan bir yağmur perdesi ile kaplanmıştır.

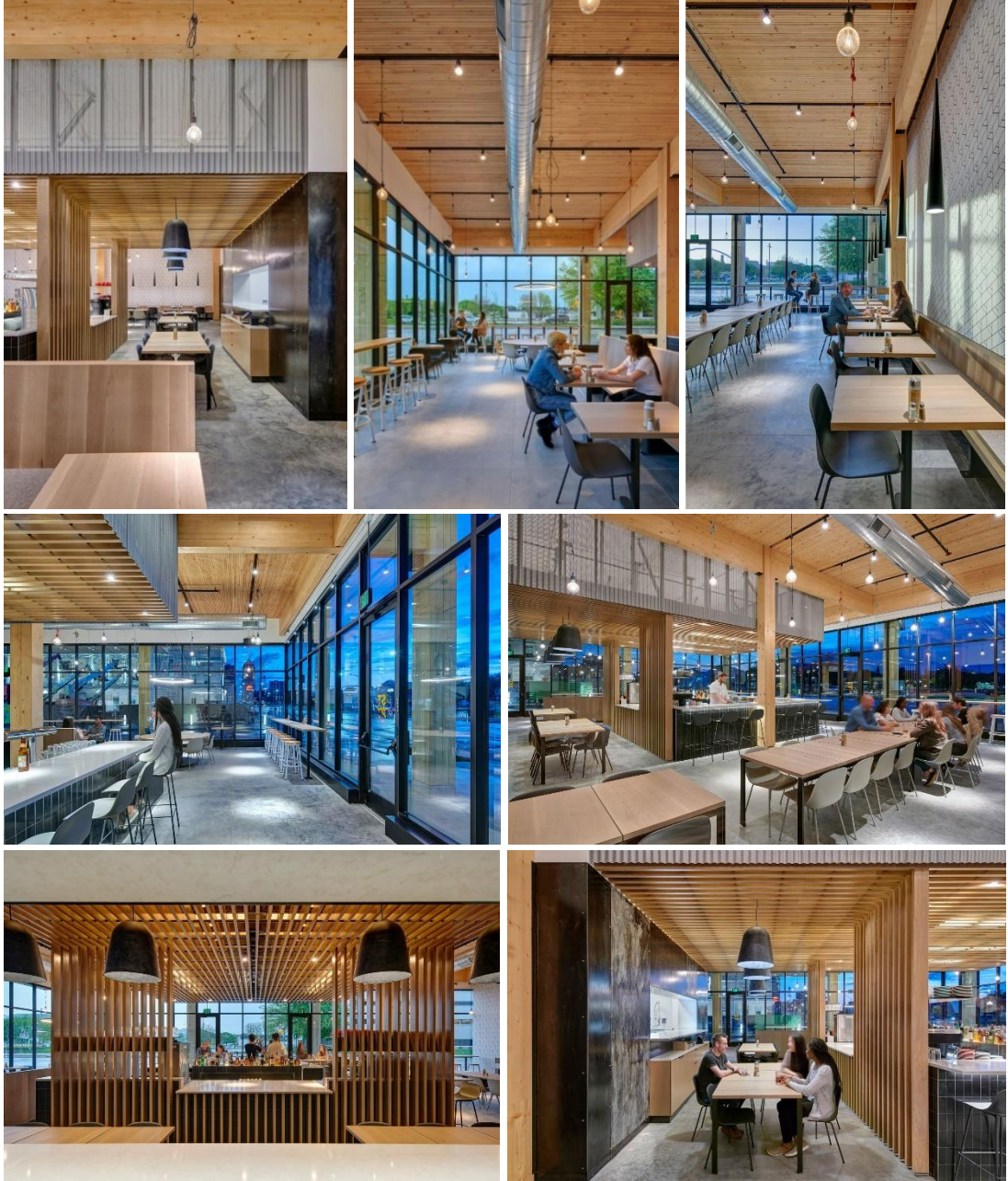


Resim 3-41: 111 East Grand Yapısı İnşa Aşaması (Url-33).

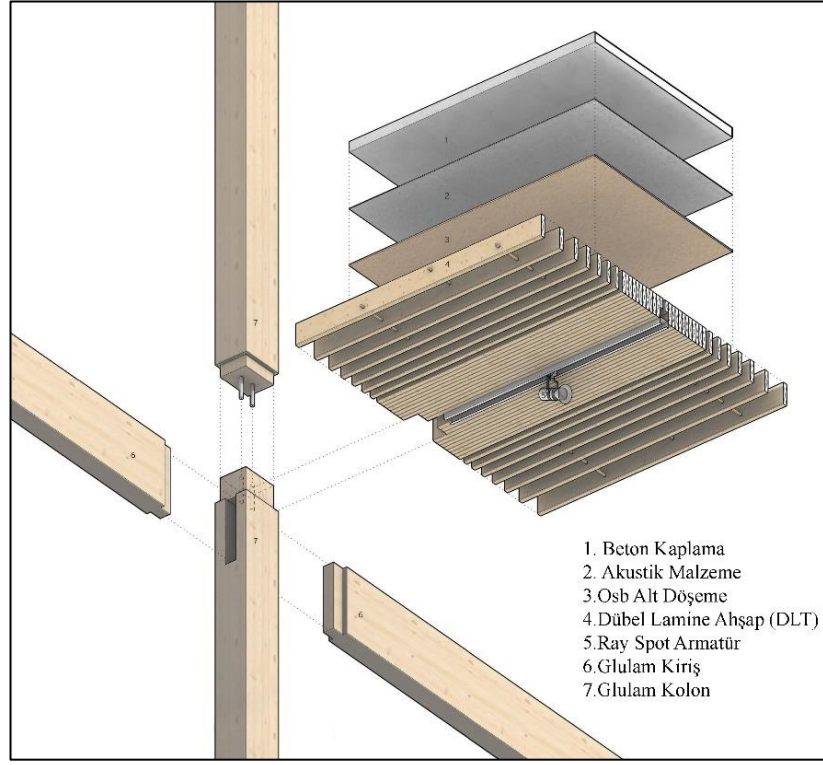
Zemin katta yer alan şık ve rahat bir yemek mekânı olan St. Kilda Surf & Turf, binanın kuzeybatı köşesine bulunmaktadır. Restoranın kuzey ve batı duvarları tamamen camlıdır ve iç mekânda yukarıdaki ofis katlarının çıkmasından kaynaklanan yarı gölgeli bir ortam oluşturur. Farklı şekillerde yapılandırılmış yemek alanları, çıtalı ahşap ve şeffaf çelik hacminin altında bulunan açık hizmet veren bir bara yönelir. Lamine ahşaptaki katmanlar, çizgili bir tavan deseni oluşturur. Elektrik kanalı, açıktaki kalan yapısal ahşap paneller arasına gizlenmiş şekilde ayarlanmıştır. Farklı renkli sarkıt Edison ampuller, bütünsel, yumuşak endüstriyel estetiği tamamlamaktadır.



Şekil 3-26: 111 East Grand Yapısı Patlamış Aksonometrik Diyagramı (Url-34).



Resim 3-42: 111 East Grand İç Mekân Ahşap Kullanımı (Url-32).



Şekil 3-27: 111 East Grand DLT Panel Döşeme Sistemi (Url-34).

Diğer lamine ahşap döşeme sistemlerinde olduğu gibi, bir DLT zemin paneli sistemi de bir zemin kaplaması gerektirir. Dayanıklı bir yüzey oluşturmak ve aynı zamanda zeminler arasında ses yalıtımı sağlamak için akustik mat ses emici bir alt tabaka ile beton bir kaplama kullanılmıştır. DLT panellerin alt tarafı, paneller arasında entegre edilmiş gömme ray aydınlatması ile alacalı tavanlar olarak açıkta bırakılmıştır.

3.9. BÖLÜMÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

21. yüzyıla dek, nüfusun artması ile doğru orantılı olarak yapılaşma oranı ve enerji kaynaklarının kullanımı da artmıştır. Bu durum, sürdürülebilir yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Günümüzdeki teknolojik gelişmelerin etkisiyle, ahşap yapı sektöründe yaşanan gelişmelerle birlikte, ahşap yeniden talep görmüş bu da yapı üretimine yansımıştır. Gelişen teknolojik gelişmelerle ahşap malzemedeki sorunlar giderilerek endüstriyel ahşap yapı elemanları üretilmiştir. Daha sonra ahşap ürünleri ve yapı sistemlerine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel ahşap, masif ahşapla karşılaştırıldığında sağladığı avantajlar ile birlikte, tasarımcıların tüm beklentilerini yeterli düzeyde karşılayabilecek, boyutsal esnekliğe, yeterli mukavemete, kolaylıkla değiştirilebilir ve istenildiğinde modüler olabilen kesit kalınlığına, görsel ve estetik açıdan tatminkâr niteliklere, istenilen miktarda, formda ve ölçüde üretim devamlılığına sahiptir. Bu yenilikçi malzemelerin, tasarımcılara sunmuş oldukları avantajlar bakımından tercih edilmektedirler. Bu malzemeler, günümüzde masif ahşap ile üretimi mümkün olamayacak form ve boyutta, özellikle çok katlı ve geniş açıklıklı, ahşap malzemenin görsel niteliklerinin algılanmak istendiği yapılarda vazgeçilmesi mümkün olmayan avantajlar sunmaktadır. Bağlayıcı/yapıştırıcı kimyasal eleman üretiminde ortaya çıkabilecek yenilikçi gelişmeler, farklı birleştirme tekniklerinin ve endüstriyel ahşap çeşitlerinin artmasına, buna bağlı olarak üretilen ahşap yapı elemanlarının niteliklerinin daha da gelişmesine imkân sağlayacağı düşünülmektedir (Özcan, Erol, 2018).

Gelişmelere açık, yenilenebilir, sürdürülebilir, prefabrik üretilen, fabrikada hızlı ve standart üretim sağlanması, yenilikçi çözümlerin kullanıldığı, hafiflik, inşaat süresinin kısa olması, montajının kolay olması gibi önemli avantajlara sahip ahşabın kullanımının, çok katlı ahşap yapı üretimine yansıdığı gözlenmektedir. Ahşabın kullanımı çelik ve beton kadar çok olmasa da çok katlı ahşap yapı uygulamalarının her geçen gün önemi artmakta ve dünya üzerinde gelişmiş birçok ülkede ahşap sistemler ile yapılan yapılar artmaktadır. Günümüzde Avustralya, Norveç, Kanada, Amerika ve Avrupa ülkelerinin de birçoğunda çok katlı ahşap yapılar inşa edilmektedir.

Genel olarak endüstriyel ahşap elemanları özetlemek gerekirse bu ürünler, birçok uygulamada aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

- Uygulamaya özel performans gereksinimlerini karşılamak için üretilirler.
- Küçük boyutta olan kütüklerdeki kusurlar giderilerek ya da dağıtılarak büyük kesitler ve uzun paneller fabrika ortamında imal edilmektedir.

- Parçacık ve lif esaslı levhaların birçoğunun nemi kolaylıkla emmesine rağmen, neme karşı etkili macun ya da boya kullanılsa bile masif ahşaba göre nem kaynaklı bozulmaya daha az eğilimli ve daha güçlüdür.
- Büyük boyutlu ahşap ürünler için uygun ağaçların nadir olması endüstriyel ahşap ile daha ekonomik hale gelmektedir. Endüstriyel ürünlerin üretilmesi masif ahşaba göre daha pahalı olmasına rağmen ekonomik nedenler dahil olmak üzere birçok avantaja sahiptir (Porteous, 2013).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. ENDÜSTRİYEL AHŞAP YAPI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Çalışmanın bu bölümünde, 21. yy' da endüstriyel ahşap elemanlar ile inşa edilen ve yapım tamamlanma yılı 2012 ve sonrası olan çok katlı endüstriyel ahşap yapı uygulama örnekleri gösterilmiştir. Bu yapılar; 10 kat ve üzeri, kat sayısı 10 -18 arasında değişen ve yapı yüksekliği 30 m' den fazla olması gibi ölçütler dikkate alınarak, 6 çok katlı ahşap yapı örneği incelenmiştir. Yapılar; Avustralya, Norveç, Kanada, Finlandiya gibi Dünya' nın birçok yerinde inşa edilmiştir. Dikkate alınan ölçütler çerçevesinde incelenen çok katlı endüstriyel ahşap yapılar (Şekil 4-1) de gösterilmektedir.

Yapı	Konum	Çok Katlı Yapı Üretim Sis.	Kat Sayısı	Bitiş Yılı
Forte	Avustralya	Ahşap Betonarme Hibrit	10	2012
Treet	Norveç	Ahşap Betonarme Hibrit	14	2015
Origne	Kanada	Ahşap Betonarme Hibrit	13	2017
Brock Commons	Kanada	Ahşap Betonarme Çelik Hibrit	18	2017
Light House	Finlandiya	Ahşap Betonarme Hibrit	14	2019
Mjøstårnet	Norveç	Ahşap Kolon Kiriş	18	2019

Şekil 4-1: İncelenen Çok Katlı Ahşap Yapı Örnekleri.

4.1. FORTÉ / MELBOURNE, AVUSTRALYA (2012)

Forté, yapımı 2012 yılında tamamlanan, o dönemin dünyadaki en yüksek ahşap yapısı kabul edilen ve Avustralya' da inşa edilen ilk çapraz lamine ahşap yapısıdır.



Resim 4-1: Forté Yapısı, Avustralya (Url-35).

Ahşap betonarme hibrit sistemle yapılan, 32,2 metre yüksekliğe sahip olan yapının zemin katı ve birinci kat döşemesi jeopolimer betondan yapılmış, diğer katları ise endüstriyel ahşap yapı sistemi ile yapılmıştır. Bunun nedeni, ticari alanlarda gereken daha büyük açıklıklar ve ahşabı zeminden izole etmektir. Yapımı 11 ay süren Forté yapısında; duvarlar (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan), döşeme, merdiven ve asansörleri oluşturan çekirdekte çapraz lamine ahşap paneller kullanılmıştır.

Beton sertleştikten sonra CLT panelleri, önceden depolandığı atıl kalmış bir iskeleden alana getirilmiştir. İnşaat ekibinin karşılaştığı zorluklardan biri, panellerin montaj için gerekli sıraya göre alana getirilmesi için sıralanması olmuştur. Yapı, 485 ton ağırlığında, ladin ağacından üretilen 759 tane çapraz lamine ahşap panelden oluşmaktadır. Avusturya'da üretilen paneller Avustralya'ya 25 taşıma konteyneri ile, köşebent ve montaj için gerekli vidalar da dahil olmak üzere paketlenerek sevk edilmiştir.

Alana taşınan paneller elektrikli bir vinç ile son konumlarına yükseltilecek yerleştirilmiş, ardından vidalar ve metal bağlantı elemanları ile montajı tamamlanmıştır. Önce merdiven ve asansör çekirdeklerini oluşturan paneller dikey olarak yerleştirilmiştir. Çekirdekleri oluşturan paneller yerleştirildikten sonra, iç ve dış duvarları oluşturmak için her katta panellerin montajı yapılarak yerine yerleştirilmiştir. Panel genişliği, yapının kat yüksekliği kadardır. Paneller daha sonra zeminleri oluşturmak için duvarların üstüne döşenmiştir. Bu işlem, yapının katları tamamlanana kadar devam etmiştir. Çatı, katların her biri ile aynı şekilde inşa edilmiştir. Son olarak, dış cephe kaplaması uygulanarak yapı inşası tamamlanmıştır.



Resim 4-2: Forté, Yapım Aşaması ve Hazır Banyo Bölümleri (Url-36), (Url-38).

Yapının dış cephesi, ağırlıklı olarak metal cephe ile kaplanmış, bazı yerleri ise geri dönüşümü ahşap ile kaplanmıştır. CLT panelleri ile cephe arasında kalan, alüminyum yağmur perdesi panelleri yapıdan suyun tahliye edilmesini sağlamaktadır. Balkonlar, çapraz lamine ahşap panelden yapılmıştır. CLT panellerinin, su geçirmez bir membran ile kaplanması ve şap ardından seramik kaplanması ile tamamlanmıştır. Balkon zemininde kullanılan CLT panellerin alt yüzeyleri açıkta kalacak şekilde bırakılmıştır. Yüzeyle uygulanan ahşap koruyucu poliüretan ve boya dışında ek bir koruma uygulanmamıştır. Hava koşullarına karşı koruma, alüminyum yağmur perdesi

panelleri ile yapılırken; termit koruması, zemin seviyesindeki betonarme ve ahşap sistem arasında termit bariyeri ile sağlanmıştır. Bu, normal bir konut binasının korunma şekline benzemektedir (Resim 4-3).

Yapı, 23 adet daireden oluşmaktadır. Dairelerin 7'si 59 m², 14'ü 80 m², dairenin 2'si ise 102 m² ve çatı katından oluşmaktadır. Hazır banyo bölmeleri kullanılması yapı montajının hızlanmasını sağlamıştır. 11 aylık inşa süresinin sadece 10 haftası (iş günleri) CLT inşası için sürmüştür. Geleneksel yöntemlere kıyasla inşaat programı 3 ay kısalmıştır. Paneller hazır olarak sahaya geldiğinden, montajı ve nakliyesi için gereken daha az parça vardır (Resim 4- 2).



Şekil 4-2: Forté Yapısı Plan (Url-37).

Tasarımda ahşabın açıkta bırakılması dikkatle ele alınmıştır. Ahşap yapı hakkında ön yargıları olan potansiyel alıcılar ve kiracıların olumsuz etkilenmemesi amaçlanmıştır. Her dairede bir CLT duvar ve yangın kaçış merdiveninin tamamı açıkta bırakılmıştır (Perkins + Will, 2014).

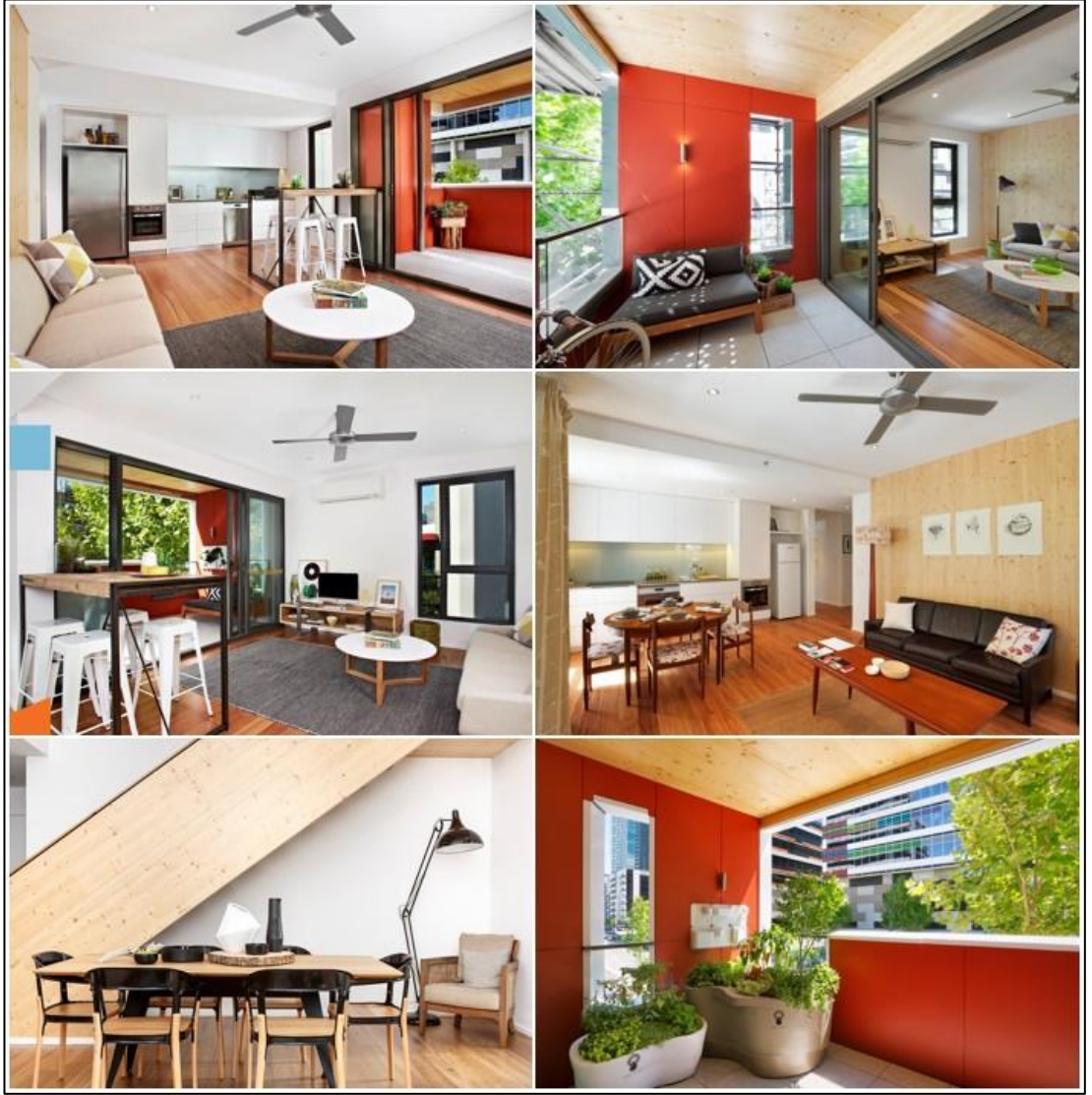


Resim 4-3: Forté, Dış Cephe Görünümü (Url-35).

Maliyet avantajlarına ek olarak, masif ahşap yapılar genellikle diğer malzemelere kıyasla çok daha hızlı bir şekilde kurulabilmektedir. Yüklenici firma Lend Lease, 10 katlı Forté binasının, prefabrik CLT paneller kullanıldığı için %30 daha hızlı inşa edildiğini tahmin etmektedir. Tesis dışı panel üretimi, kurulumu hızlandırarak tasarruf sağlayarak inşaat süresi kısalmıştır. Ahşap yapılar ayrıca diğer malzemelere göre daha hafiftir, bu da temel gerekliliklerini ve dolayısıyla temel maliyetlerini azaltmaktadır. Taşıyıcı sistemin hafif olması, özellikle Forté projesinde olduğu gibi, temel maliyetlerinin yüksek olduğu zemini iyi olmayan bölgelerde önemlidir (ReThink Wood, 2014).

Forté, 761 ton CO₂'yi doğrudan depolayarak (tutarak) çevreyi olumlu yönde etkilemektedir. Eşdeğer bir beton veya çelik binaların kullanılması durumunda ortaya çıkacak olan CO₂ salınımı göz önüne alındığında; Forte yapısının avantajı, CO₂ emisyonlarını 1.451 ton azaltmakta veya bir yıl boyunca 345 otomobilin emisyonuna eşdeğer miktarda karbon depolamaktadır.

Forté büyüklüğünde bir yapı için ahşap kullanılmasının 7,7 ML (mega litre) su tasarrufu sağladığı ve ötrofikasyonu (su sistemine aşırı besin tedariki) %75 oranında azalttığı tahmin edilmektedir. Ayrıca, binanın akıllı tasarımı ve verimli sistemlerinin, konut sakinlerine enerji ve su faturalarında da tasarruf sağlayacağı tahmin edilmektedir.



Resim 4-4: Forté, İç Mekân (Url-35), (Url-38).

Tasarım sürecinde Avrupa'dan ahşap ürünlerin tedarik edilmesini sağlamak için kapsamlı maliyet değerlendirmesi ve lojistik planlaması yapılmıştır. Uzak mesafeli deniz taşımacılığı ile yapılacak nakliyatın kısıtlamalar ve gömülü enerji üzerindeki etkisi göz önüne alınmıştır. Tasarım ekibi, İngiltere'den dış yapı ve montaj uzmanı olan KLH firmasına ulaşmışlardır. Tasarım çözümlerini araştırmak ve yürütmek için ek zaman ve kaynak yatırımı yapılmıştır (Perkins + Will, 2014).

4.2. TREET / BERGEN, NORVEÇ (2015)

Treet yapısı, kentsel ve merkezi bir bölgede yer almaktadır. Yapı, Norveç'in Bergen kentinde, Puddefjordsbroen anayol köprüsünün yanında bulunmaktadır. Bergen, Norveç'in en büyük ikinci şehridir ve ülkenin batı kıyısında yer almaktadır. "Treet" yerel Norveç dilinde "Ağaç" anlamına gelmektedir. 14 katlı inşa edilen konut yapısının, tasarım süreci 2011'de başlamış ve 2013'te tamamlanmıştır. Yapının, ilk zemin çalışmaları 2014'te yapılmış ve 20 ay süren inşaat süreci 2015 yılında tamamlanmıştır.



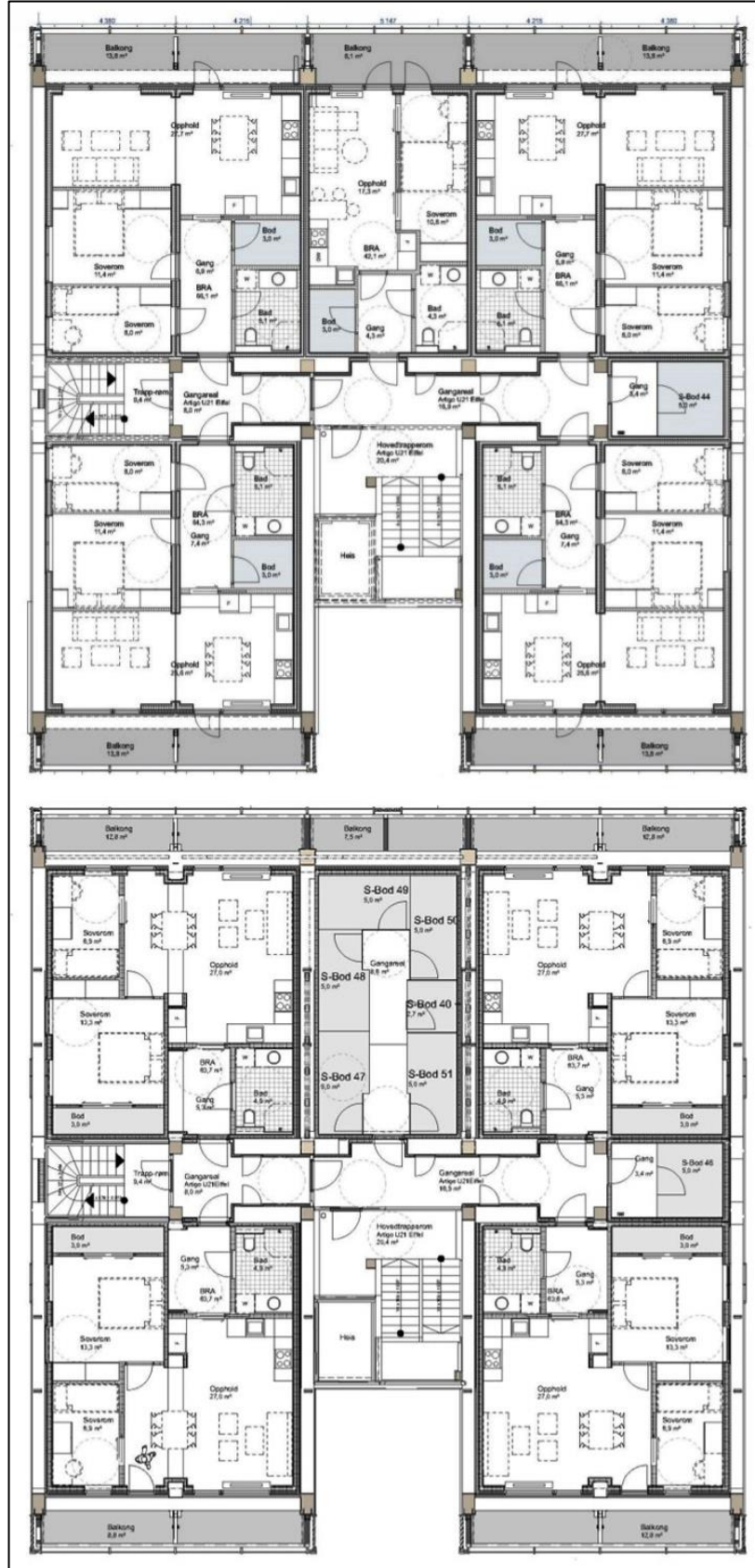
Resim 4-5: Treet Yapısı, Bergen, Norveç (Abrahamsen, 2014).

14 katlı ahşap betonarme hibrit sistem ile inşa edilen yapı, 5830 m² net alana sahiptir. Yapının 3 katında beton panel döşeme kullanılmıştır. Yapıdaki ana yük taşıyıcılarının tümü ahşaptır. 49 m yüksekliğe sahip yapı, endüstriyel ahşaptan oluşan kolon – kiriş sistemi ve ahşap modüler sistemi kullanılarak yapılmıştır.

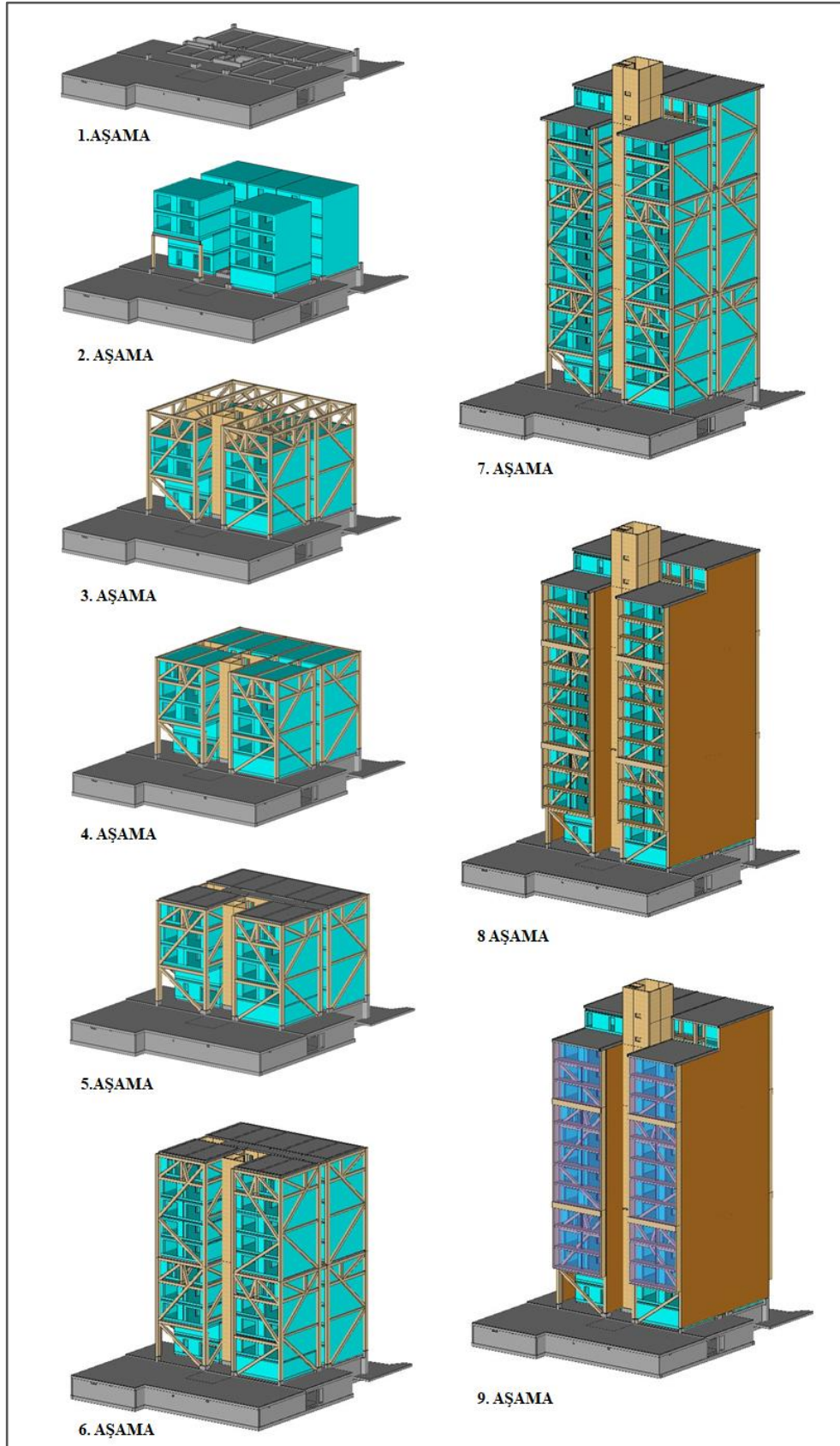
Katlar, prefabrike yapı modülleri ile oluşturulmuştur. Modüller bir yatak odalı dairenin büyüklüğü kadardır. Bir yatak odalı daire tek modülden oluşurken, iki yatak odası olan dairelerdeki modüller, ayrı iki modül olarak üretilir ve sahada birleştirilir. 62 apartman dairesi bulunan yapının; 42 m² (bir yatak odalı), 64 veya 66 m² (iki yatak odalı) olacak şekilde üç farklı daire tipi bulunmaktadır. Otopark, teknik odalar ve depoların bulunduğu bodrum katı 920 m² net alana sahiptir. Dokuzuncu katta spor salonu ve site sakinlerinin kullanımına açık bir çatı terası bulunmaktadır (Şekil 4-3).

Prefabrik ahşap yapım sistemi, İskandinavya’da onlarca yıldır kullanılan bir sistemdir. Yapıların bu sistemle, ikinci bir taşıyıcı sistemi kullanılmadan üst üste istiflenerek beş kata kadar yapılabildiği bilinmektedir. The Tree yapısının 14 katlı üretilmesi amacıyla geliştirilen sistemde ikinci bir taşıyıcı çözüme gereksinim duyulmuştur. Yapının inşaa aşamaları, (Şekil 4-4) ’de gösterilmiştir. Buna göre, The Tree yapısında geleneksel prefabrik sistemden yola çıkılarak modüller dört kata kadar istiflenmiş ve sistem olarak 1-4, 5, 6-9, 10 ve 11-14 seviyelerinde ana taşıyıcı sisteme bağlanan güç katları oluşturulmuştur. Yapıda, 1-4 seviyeleri, betonarme otopark katının üzerinde yer almaktadır. Seviye 5 (4. katta), cephe makaslarına bağlı, "güç katı" olarak adlandırılan güçlendirilmiş bir lamine ahşap (glulam) kat olarak üretilmiştir. Seviye 5, özel glulam modüller ile ana taşıyıcı yapıya bağlanmış, altındaki modüllere doğrudan bağlanmamıştır. Bu güç katı üzerinde prefabrik betonarme döşeme bulunmaktadır. Buradaki döşeme, 1-4 seviyelerinde olduğu gibi, üzerine gelecek 6-9 seviyeleri için temel oluşturmakta ve 6-9 seviyelerindeki modüller, bu temel üzerine yerleştirilmektedir. Sonrasında, yeni bir "güç katı" (seviye 10) ile tekrar eden sistem üzerine 11-14. Seviyeleri içeren modüller yerleştirilmiştir. Son olarak yerleştirilen betonarme plaka ile, yapı 15. Kat seviyesinde gezilebilen bir teras çatı ile tamamlanmıştır (Malo, 2016), (Şekil 4-4).

Yapıdaki beton plakalar, ahşap taşıyıcı makasların birlikte çalışması amacıyla birleştirilmiştir. Aynı zamanda, yapısal kütlelerin artırılması buradaki diğer bir amaçtır. Beton elemanlar yapısal sistemin bir parçası olmayıp, bina içerisindeki hareketi azaltmak ve ağırlık katmak için kullanılmıştır (Malo, 2016). Bundan dolayı Treet konut yapısı, tek ahşap malzemeli yapı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4-3: Treet, Kat Planı ve Güç Katında Kat Planı (altta) (Url-39).



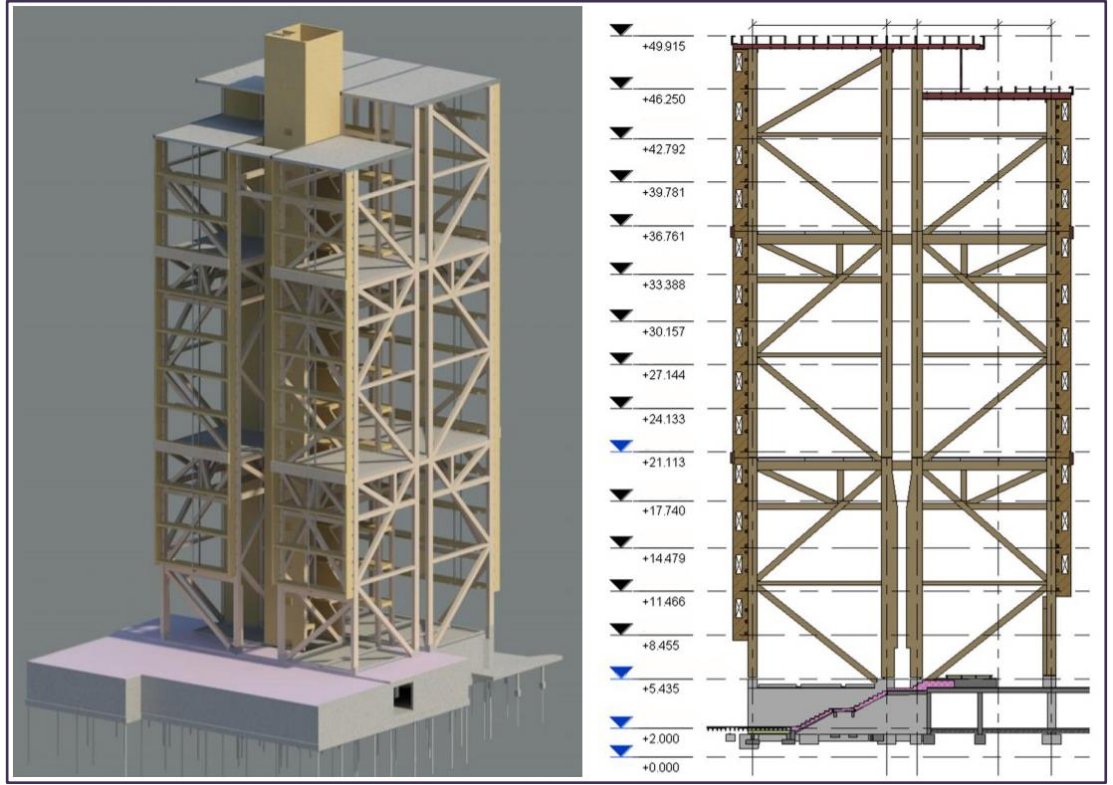
Şekil 4-4: Treet Yapısı kurulum Aşaması (Abrahamsen, 2014).

The Tree yapısının bodrumunda 102 adet çelik kazık üzerine oturtulmuş betonarme otopark (bodrum) katı bulunmaktadır. Zemin katta yapı 23x21 metre genişliğinde bir formda kurgulanmıştır. Yapıda düşey sirkülasyonun sağlanması için CLT yapım teknolojisi ile üretilmiş bir merdiven, asansör shaftı ve acil kaçış merdiveni bulunmaktadır (Gül, 2019).



Şekil 4-5: Treet Yapısı kesitler (Url-39).

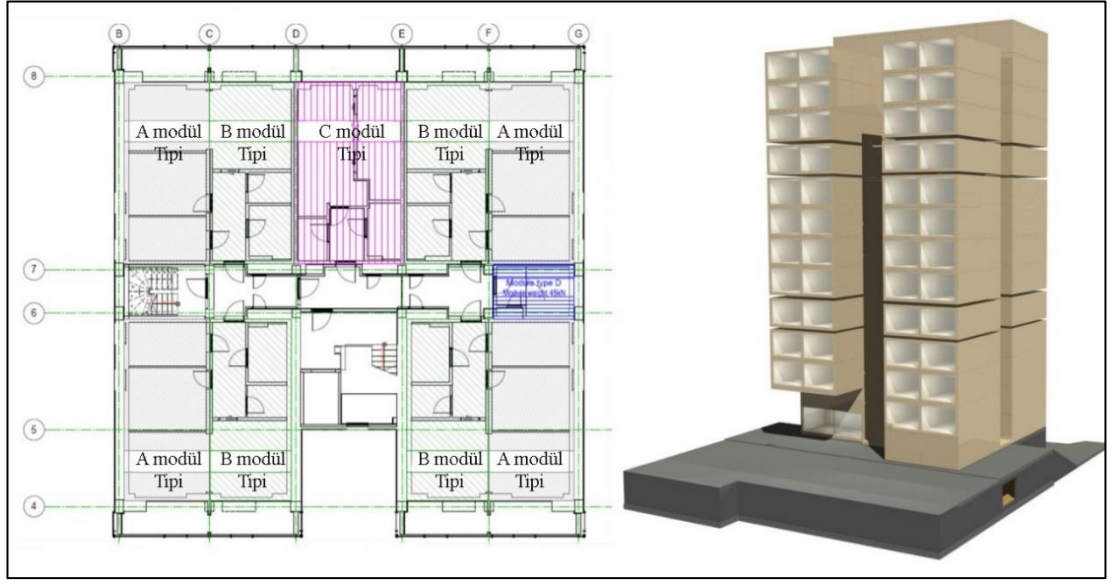
Sistem, ahşap modüller ve glulam kafeslerden meydana gelmektedir. Yapısal tasarım konsepti fikri, çekmecelerle dolu bir dolap rafına benzetilerek açıklanabilir. Burada dolap rafı büyük glulam kafes kirişlerden ve çekmeceler prefabrik konut modüllerinden oluşur. Glulam kafes, modern ahşap köprü yapılarında kullanılan tasarım konseptlerine yakın bir benzerliğe sahiptir. Estonya'da fabrikada üretilen prefabrik modüller, elektrik ve tesisat bağlantıları gibi tüm ince işler tamamlanmış bir halde Bergen'e gönderilmiştir.



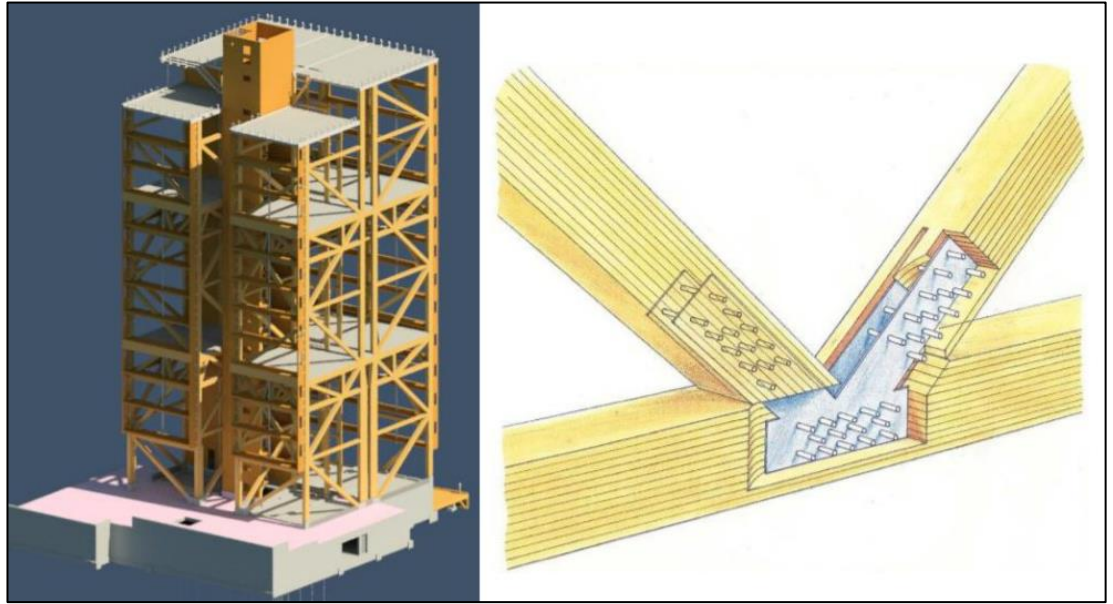
Şekil 4-6: “Güç katlarının” üstündeki beton levhaları gösteren yapısal model ve yük taşıyan yapının dikey bölümü (Malo, 2016).

Yapıda 550 m³ glulam kullanılmıştır. Glulam kolon boyutları 405x650 mm ve 495x495 mm' dir. Eğer kolon diyagonal ise boyutu 405 x 405 mm'dir. Norveç ve Almanya' daki fabrikalarda üretilen CLT' nin yapıda kullanımı ise 385 m³' tür. Yapının temeli, 23 x 21 m uzunluğuna sahip bir dikdörtgendir. (Şekil 4-7), yapının tipik bir modül planını göstermektedir. A ve B modül tipleri 4 m x 8,7 m ve C modül tipi 5,3 m x 8,7 m boyutlarındadır. Treet yapısında kullanılan yaklaşık 1000 m³ ahşap CO₂ emisyonlarını yaklaşık 1000 ton azaltmaktadır.

Tüm glulam elemanları, oluklu çelik plakalar ve dübeller kullanılarak bağlanır. Bu, büyük açıklıklı yapılarda ve köprülerde yaygın olarak kullanılan yüksek kapasiteli bir bağlantıdır. Yapısal ahşap, birkaç istisna dışında, cam veya metal kaplama ile kaplanmıştır. Bu, ahşabı yağmurdan ve güneşten koruyarak dayanıklılığı artırmakta ve bakımı azaltmaktadır (Şekil 4-8).

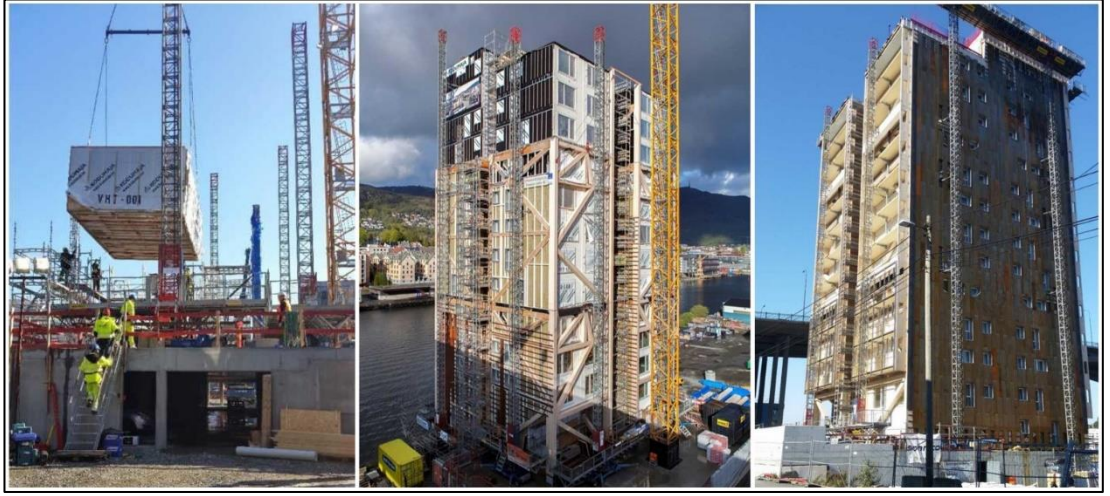


Şekil 4-7: Yapının Modül Planı ve Modül (Bjertnaes, 2014).



Şekil 4-8: Glulam Elemanları Bağlantı Detayı (Abrahamsen, 2015).

Yapı elemanları ve modüller sahaya getirildiğinde montajına başlanılmıştır. Modüllerin ve ahşap elemanlar fabrikada üretilmesi, sahada yerlerine yerleştirilmesi inşaat hatalarını epey azaltmıştır. İlk maliyetin, beton veya çelik yapıdan biraz fazla olmasına rağmen, yapının sadece 3 gün içinde 4 katının inşa edilmesi ile yapının inşaat süresi önemli ölçüde azaltmıştır (Kleppe, 2016).



Resim 4-6: Treet, Yapım aşamaları (Url- 39).



Resim 4-7: Treet Yapısı İç Mekân Görünümü (Sol üstte güç katı dairelerinde treet'in strüktürel niteliği olan ana taşıyıcılar görülmekte) (Url-39), (Url-40).

4.3. ORİĞİNE/ QUEBEC, KANADA (2017)

Origine, Kanada'danın Quebec şehrinde Pointe-aux-Lièvres bölgesinde Saint-Charles Nehri kıyısında yer alan 13 katlı konut yapısıdır. Origine, her biri kendi yerleşim planına sahip stüdyo dairelerden üç yatak odalı birimlere kadar değişen 92 konut birimine sahiptir. Her birim ayrıca Quebec City ve çevre parkların manzarasına sahip özel bir teras veya balkona sahiptir. Ahşap betonarme hibrit sistem ile inşa edilen 40,9 metre yüksekliğindeki yapı, Kuzey Amerika'da bulunan en yüksek ahşap konut yapısıdır.

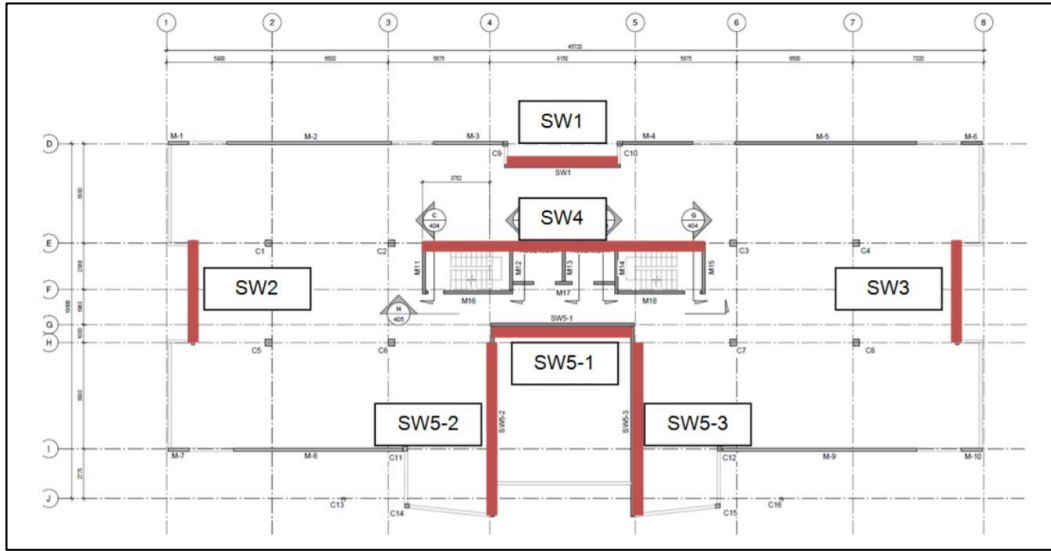


Resim 4-8: Origine Yapısı (Url-41).

13 katlı 890 m² alana sahip Origine yapısında, yatay ve düşey yüklere karşı; taşıyıcı duvarlar, perde duvarlar (bazı yerlerdeki), kat döşemeleri, çatı, asansör ve merdiven boşluğunda çapraz lamine ahşaptan (CLT) yapılmıştır. Taşıyıcı sisteminde ise yapıştırılmış lamine ahşap (glulam) kolon ve kirişler kullanılmıştır. Tüm bu endüstriyel ahşap ürünler, Kuzey Quebec'teki Chantiers Chibougamau tesisinde ladin ağacından üretilmiştir.

Prefabrik CLT paneller, glulam kolonlar ve bağlantılar sayesinde bir katın inşası yaklaşık bir haftada tamamlanmıştır. Betonarme zemin kat ve CLT perde duvarları arasında tek parça çelik bağlantılar kullanılmıştır. CLT perde duvarları ve asansör boşluğu duvarları 3 kat yüksekliğinde üretilmiştir (Mohammad, 2018).

Origine yapısında, yanal yüklere karşı balon sistem tipi büyük çapraz lamine ahşap (CLT) perde duvarlar (9 katmanlı) ve CLT' den yapılmış asansör ve merdiven shaftları tercih edilmiştir (Oberholzer, 2016) (Şekil 4-9).

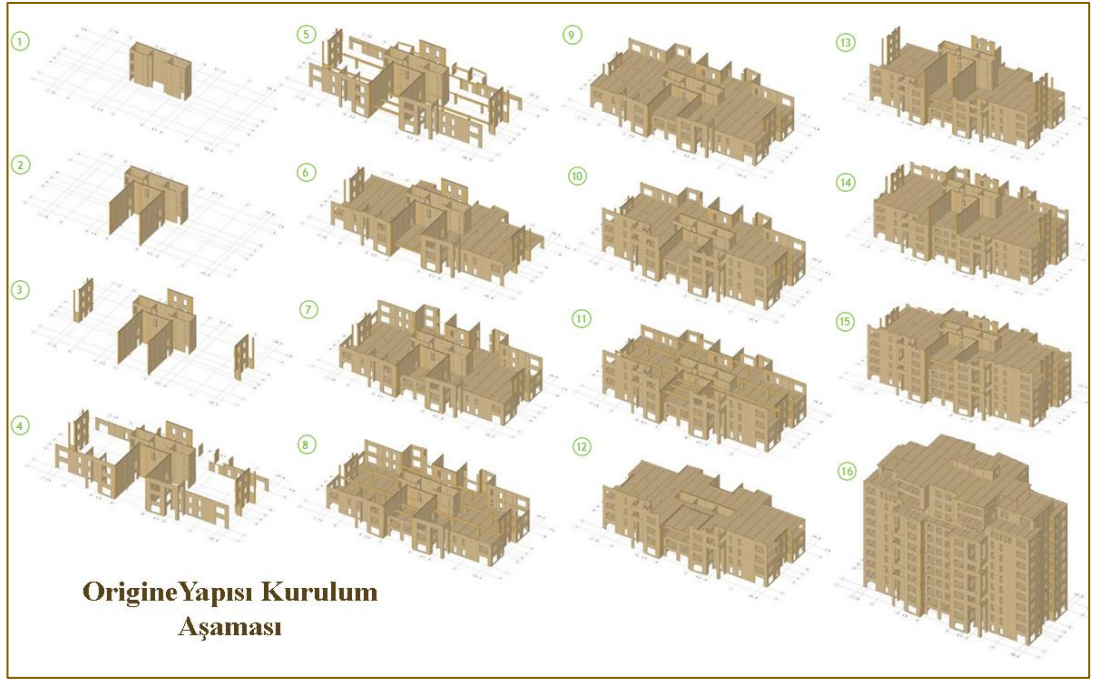


Şekil 4-9: Yanal kuvvete dayanıklı sistem planı (perde duvarlar) (Oberholzer, 2016).

Yerçekimi yüklerine dayanıklı bir taşıma sistemi için, Origine yapısında lamine panel ve glulam kolon- kiriş sisteminin kombinasyonu kullanılmıştır. Bu kombinasyonda glulam kolonlar sürekliliği sağlamaktadır. CLT perde duvarları, asansör ve merdiven shaftlarının duvarları, balon tipi sistemdeki gibi binanın yüksekliği boyunca sürekli olduğundan, CLT döşeme panelleri destek sağlamak için bu sürekli duvarlara vidalanmıştır (Mohammad, 2018).

Ahşap yapı, betonarme zemin çalışması bittikten sonra dört ay gibi kısa bir sürede inşa edilmiştir. Yapının ilk 3 katı dört haftada tamamlanmıştır. Daha sonra çatı yerleştirilmeden, zeminden zemine yinelenen bir sıra şeklinde yapı içinde çalışma devam etmiştir.

Yapıda çalışan ilk ekip tarafından, duvarlar ve radyan yerden ısıtma borularını yalıtılmış ve daha sonra beton zemin dökülmüştür. Beton kurduktan sonra, birim bölümler yükselmiş, sonra tesisatçılar ve elektrikçiler montaja başlamışlardır. Tüm boru ve kablolar monte edildiğinde servis alanlarına yalıtım yünleri doldurularak duvarlara ve tavanlara alçı paneller yerleştirilmiştir (Cecobois, 2018) (Resim 4-10).



Şekil 4-10: Origine, Kurulum Aşamaları (Cecobois, 2018).

Montaja yanal yüklere karşı olan elemanları monte ederek başlanmıştır (çekirdek duvarları, giriş holü duvarları, doğu ve batı bölücü duvarlar). Bunlar, üç kat yüksekliğinde CLT panellerdir. Daha sonra, kolon- kiriş ve duvar panelleri yerleştirilmiştir. Döşeme panelleri monte edilerek her kat bu şekilde 12. Kata kadar tamamlanmıştır (Şekil 4-10). Montaj hızını arttırmak için, duvar ve döşeme panellerindeki delikler fabrikada delinmiştir. Döşeme panellerinin, yarım tur derzler yerine kontrplak şeritleri kullanılarak bir araya getirilmesi montajı hızlandırmıştır. Bu teknik, üst üste gelen yarım tur bağlantı noktalarının bir kısmını kaybetmek yerine panellerin tam genişliğinin kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Origine projesinin ölçeği göz önüne alındığında, bu optimizasyon, kullanılan panel sayısının ve dolayısıyla fabrikada ve şantiyedeki kullanım miktarının azaltılmasını sağlamıştır (Cecobois, 2018).



Resim 4-9: Origine, Yapım Aşaması (Cecobois, 2018).



Resim 4-10: Isıtma, elektrik ve tesisat bağlantıları montajları (Cecobois, 2018).

Origine yapısında kullanılan 3111 m³ ahşap 1.000 ton CO₂'nin atmosfere salınmasını önleyeceği ve yapının ahşap konstrüksiyon panellerinde 2.065 ton karbon depolayacağı tahmin edilmektedir. Ahşap konstrüksiyonun karbon depolama faydasına ek olarak, yapı çevre dostu özelliğe sahiptir. Güneşi daha iyi yansıtmak ve ısı adası etkisini azaltmak için çatı beyaz su yalıtım membranı ile kaplanmıştır. Ayrıca radyant ısıtma sistemi bulunmaktadır.



Resim 4-11: Origine, İç Mekân Görünümü (Cecobois, 2018).

4.4. BROCK COMMONS / VANCOUVER, KANADA (2017)

2017 yılında tamamlanan Brock Commons Tallwood House, British Columbia Üniversitesi (UBC)'nin Vancouver kentindeki bir öğrenci yurdu binasıdır. 404 öğrenci için tasarlanan 18 katlı 53 metre yüksekliğinde, çelik betonarme hibrit sistemle yapılan Brock Commons yurdu, dünyanın en yüksek ikinci ahşap yapısıdır (Resim 4-12).

Yapıda, öğrenci konutları 2. ve 18. katlar arasında yer almaktadır. 2. ve 17. Katlar arasındaki her katta 16 adet stüdyo daire ve katların her iki ucunda 4 kişilik odalar; 18. Katta ise bir adet dört kişilik oda, 16 adet stüdyo daire ve öğrenci salonu bulunmaktadır. Dört kişilik odalar, ortak bir alan, bir mutfak, iki banyo ve dört ayrı yatak odasını içermektedir. Stüdyo dairelerin her birinde açık bir mutfak, banyo ve yatak odası bulunmaktadır (Canadian Wood Council, 2018).

Yapı, 15 x 56 ölçülerinde 840 m²'lik kat alanından oluşmaktadır. Toplamda 272 stüdyo daire ve 33 adet dört yatak odalı birimden oluşan yapının, öğrencilerin ortak kullanacağı alanları (Çalışma ve sosyal alanlar, teknik odalar) zemin katta yer almaktadır. Yapıda ahşap elemanlar açıkta kalacak şekilde bırakılmamıştır. Ahşap, yapı boyunca kullanılan ana malzeme olmasına rağmen, iç mekanlar tasarımlarında gözükmemektedir. Yapıda iç mekânda sadece 18. katta ahşabın açıkta bırakılarak tasarlandığı bir öğrenci salonu bulunmaktadır. Yapı, esas olarak kabul edilen yangın güvenliği kurallarına uymak ve sonuç olarak bina yetkililerinin onayını hızlandırmak için alçıpan ve beton kaplamanın arkasına gizlenmiştir.

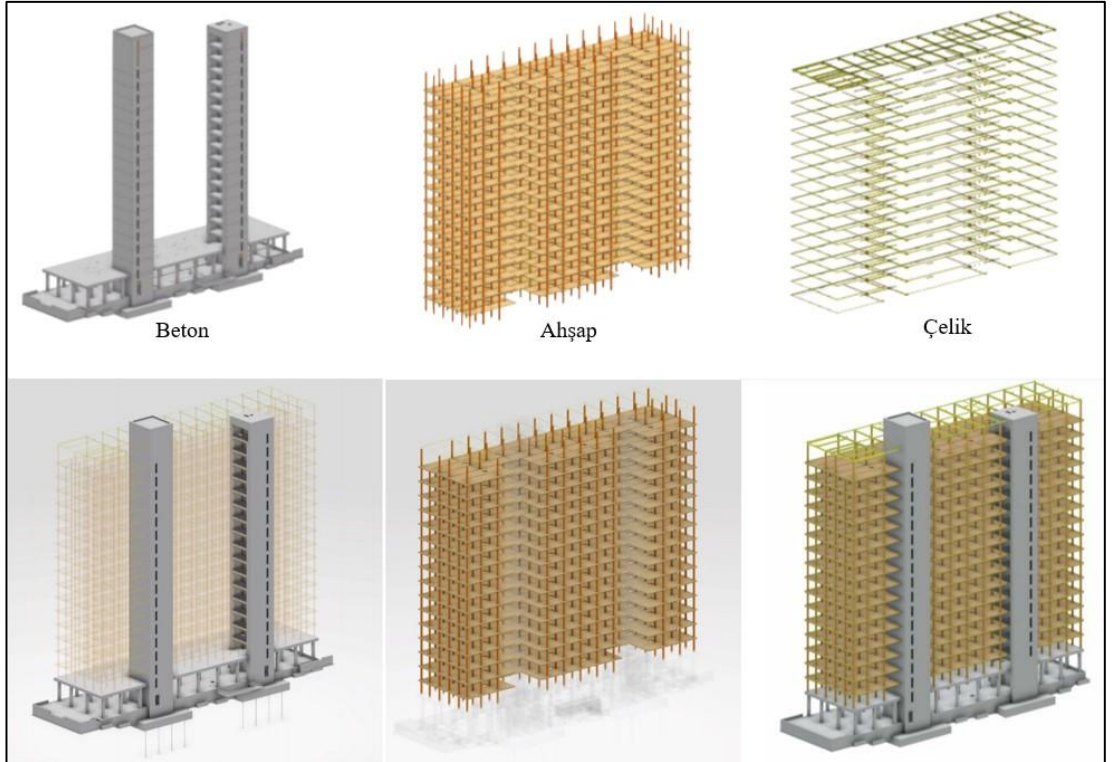


Resim 4-12: Brock Commons Yapısı (Url- 47).

Yapının taşıyıcı sistemi ahşap beton çelik hibrit sistemdir (Şekil 4-12). Temel, zemin kat, ikinci katın döşemesi ve çekirdek betonarme iken; üst katlar glulam kolonlar ve çelik bağlantılı PSL kolonlar ile 5 katmanlı CLT döşeme panellerinden oluşmuştur (Resim 4-13). CLT' nin iki yönlü yayılma özelliğinden faydalanılarak yapıda kiriş kullanılmamıştır. Yapının cephesi prefabrike ahşap lifli laminat kaplamalı çelik saplama çerçeve elemanlardan oluşmaktadır. Çatı çelik konstrüksiyondur. Kolonlar, CLT döşeme panelleri gibi tüm ahşap yapı elemanları ve bağlantı çelikleri için üretim 9 hafta sürmüştür. Ahşap elemanların yüzeylerine nem koruyucu bir malzeme sürülmüştür (Canadian Wood Council, 2018).



Şekil 4-11: Brock Commons, Zemin Katı ve Kat Planları (Url- 48), (Fallahi, 2017)
(Mor alan dörtlü- yeşil alan tekli birimler)



Şekil 4-12: Brock Commons Yapısı Taşıyıcı Sistemi (Fallahi,2017), (Fast, 2016).

Acton Ostry Architects mimarlık firması arazinin darlığı, ahşap ve betonarme hibrit yapıdan istenen verimliliğinin sağlanabilmesi için projeyi basit, kütsel bir dikdörtgen yapı formunda tasarlamıştır (Acton Ostry Architects, 2015). 2017 yılında tamamlanan yapı, tasarımın sadeliğinden dolayı tahmin edilen maliyetin altında tamamlanmıştır.

Tasarım ve inşaat ekibinin en başından beri birlikte çalışmasıyla süreç, şantiye inşaatı öncesinde iki katlı bir maket üzerinde ahşap ve ahşap bağlantılarının kapsamlı bir şekilde test edilmesiyle kolaylaştırılmıştır. Bu, ekibin yapısal kararlılığı test etmesine aynı zamanda projenin zaman çizelgesini oluşturmaya da yardımcı olmuştur. Planlama, inşaat ve tasarım süreçlerinin verimli entegrasyonu sayesinde, Brock Commons, prefabrik bileşenlerin montaja hazır hale gelmesinden 70 gün sonra tamamlanmıştır (aynı büyüklükteki beton bir binayı tamamlamak için gereken süreden önemli ölçüde daha kısadır).



Resim 4-13: Brock Commons, CLT Döşeme ve Glulam-PSL Kolonlar (Url- 49).

Yerinde inşaat aşaması genel olarak üç aşamaya ayrılmıştır: betonarme inşaatının tamamlanması, ahşap yapı ve cephe kurulumu, iç mekanların ve diğer bina sistemlerinin oluşturulmasıdır. Brock Commons'da beton temel, zemin kat podyum, ikinci katın döşemesi ve iki adet beton çekirdek 7 ayda tamamlanmıştır (Canadian Wood Council, 2018).

Bir kattaki ahşap yapı elemanlarının montajı bitip diğerine başlanıldığında bir önceki katın cephe elemanlarının montajı yapılmıştır. Böylece cephe elemanlarının montajı yapısal elemanların bir kat seviye gerisinde yapılmıştır. Bu şekilde ahşap elemanların hava şartlarına maruz bırakılması en aza indirgenmiştir (Fallahi, 2017). Ahşap elemanlar belirli aralıklarla saha alanına getirilmiş, depo edilmesine gerek kalmadan yapı yerlerine montajı yapılmıştır.



Şekil 4-13: Brock Commons Yapısı Görünüş (Url- 50).



Şekil 4-14: Brock Commons Yapı Kesiti (Url- 50).

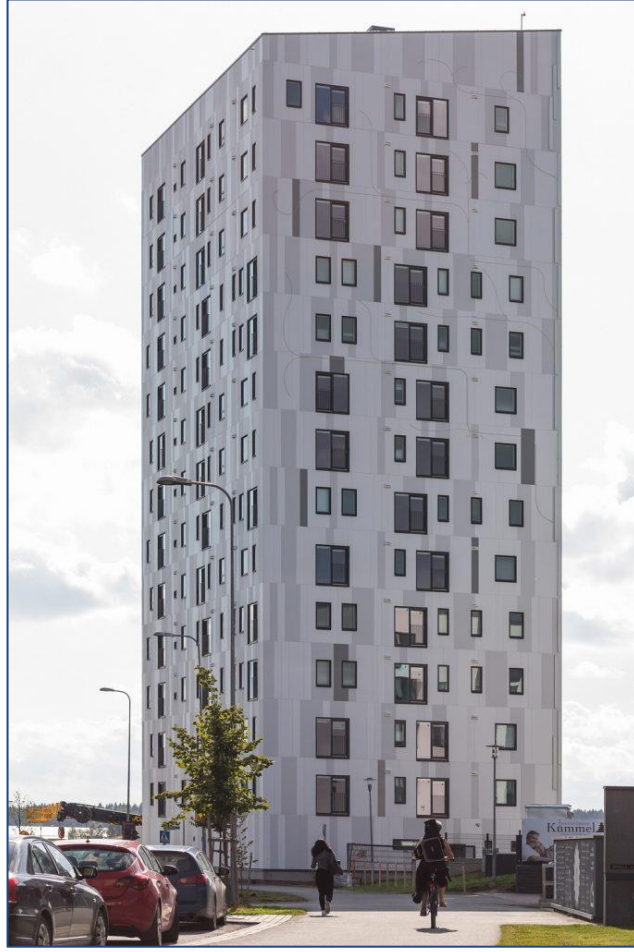


Resim 4-14: Öğrenci Çalışma ve Sosyal Alanları (Url- 47).

4.5. LİGHTHOUSE / JOENSUU, FİNLANDİYA (2019)

Finlandiya'nın Joensuu bölgesinde, Savonlinna'daki üniversitenin fakültelerinden birinin Joensuu'ya taşınması ile bölgede öğrenci konut ihtiyacı artmıştır. 2019 yılında tamamlanan 14 katlı Lighthouse, 117 öğrenci dairesi içeren ve 48 metre yüksekliğinde Finlandiya'nın en yüksek ahşap yüksek binasıdır.

Şehrin imar planında, sitenin ahşabı tercih ederek yüksek katlı yapı yapılması gerektiği belirtilmiştir. Sonuç olarak mimarlar, Fin ışık sanatçısı Kari Kola'nın hafif bir enstalasyonunu içeren (Resim 4-16), dış cephe de dahil olmak üzere yenilikçi tasarım özelliklerine sahip tamamen ahşap bir yapı (beton zemin kat hariç) tasarlamışlardır.



Resim 4-15: Lighthouse Yapısı, Finlandiya (Url-42).

Yapı için ahşap tedarikçileriyle, lamine ahşap panel sistem ya da modüler konstrüksiyon sistem ile yapma olasılıkları incelenmiş ve tercih edilen LVL-CLT panel sistem olmuştur. Modüler konstrüksiyon sisteme göre, lamine panel sistemin yapımı, maliyet açısından daha uygun olduğu için seçilmiştir.

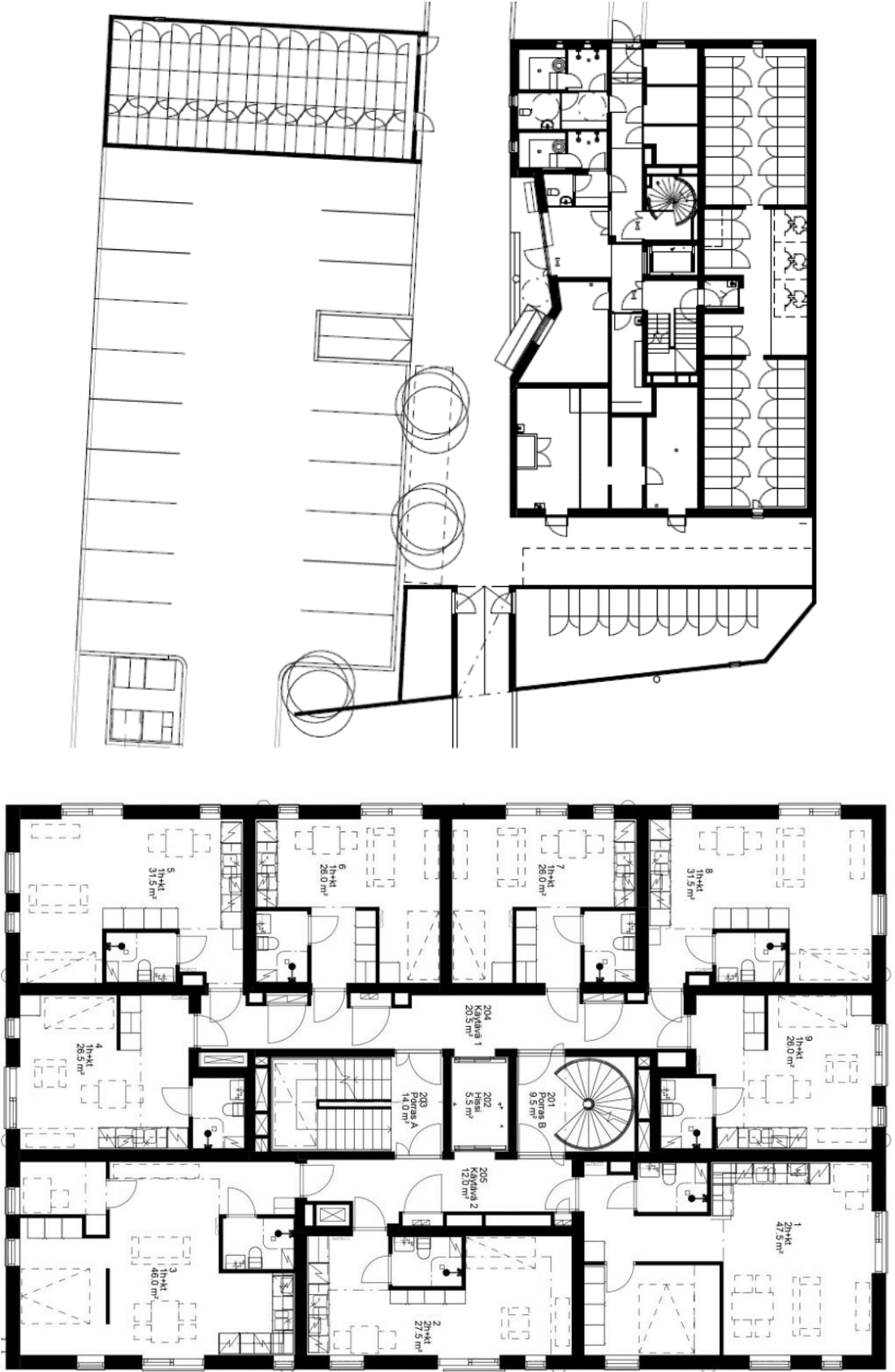
Projenin amacı, verimli bir kat planı, optimize edilmiş yapılar ve yenilikçi teknoloji kullanarak ahşap bir yapının beton yapıya göre maliyet farkını en aza indirmektir. Bu amaçla, zemin kat ve sivil savunma sığınağı (Finlandiya'da 1.200 m² üzerinde alana sahip yapılar için standart bir gerekliliktir) betondan yapılmıştır (Şekil 4-15) ancak yapının geri kalanı (13 katın tamamı) asansör boşluğu da dahil olmak üzere, LVL ve CLT panel sistemle inşa edilmiştir. Döşeme için CLT, duvarlar için ise LVL ahşap paneller kullanılmıştır.



Resim 4-16: Lighthouse Yapısı Gece Görünümü (Url-42).

Ahşap betonarme sistem ile inşa edilen yapının inşaatı 20 ay sürmüştür. 117 konut biriminden oluşan yapıda, öğrencilerin ortak kullanım alanları zemin katta bulunmaktadır. Zemin katta sauna, çamaşır odası ve kurutma odası, teknik tesisler, ev ve dış mekân ekipmanları için depolama alanları bulunmaktadır. 1-13. katlar, ikisi tek yatak odalı daire ve geri kalan yedi stüdyo daire olmak üzere dokuz daireye sahiptir. Dairelerin büyüklükleri 26 ile 47,5 m² arasında değişmektedir (Şekil 4-15).

Finlandiya'nın en yüksek ahşap apartmanı planlanan zamanda tamamlanmıştır. Her bir katın inşası iki haftadan az sürmüştür. Apartman binası ahşap olmasına rağmen, bitmiş binada çok az ahşap yüzey görülmektedir. Yangın güvenliği gereksinimlerini karşılamak için çoğu yüzey alçıpan ile kaplanmıştır. Cephede, beyaz ve grinin farklı tonlarında karolar kullanılmıştır.



Şekil 4-15: Lighthouse Yapısı Kat Planı (Url-43)

LVL duvar panelleri çapraz lamine edilerek üretilmiştir. Yapı elemanının katmanları boyunca çapraz yerleştirilen kaplamalar (LVL-X), özellikle kayma mukavemetinin önemli olduğu durumlarda, boyutsal kararlılık sağlamaktadır. LVL ahşap yapı elemanları, sahaya 130 km mesafede bulunan Stora Enso'nun Varkaus fabrikasında üretilmiştir. Panellerdeki pencere ve kapı boşlukları dahil fabrikada hazırlanmıştır (Tuulikki, 2018).



Şekil 4-16: Lighthouse Yapısı Kesit ve Görünüş (Url-43).

Finlandiya'nın en yüksek ahşap apartmanı planlanan zamanda tamamlanmıştır. Her bir katın inşası iki haftadan az sürmüştür. Ön üretimi yapılan paneller, sahaya teslim edildikten sonra, kurulum için gereken son düzenlemeler yapının yanında bulunan bir çadır örtüsünün altına yapılmıştır. Panellere ilave edilen ısı yalıtımı, doğramalar ve cephe panelleri montajı yapıldıktan sonra yerlerine yerleştirilmiştir. Duvar panellerinin iki tarafına da ısı yalıtımı yapılmış ve iki kat alçı panel monte edilmiştir. Ahşap elemanlar daha sonra hava şartlarının izin verdiği ölçüde kurulmuştur. Yağmurlu hava şartlarında kurulum olmamıştır. Montajı yapılan kısımların işlerine devam edilmiştir. Kurulumdan sonra, tamamlanan katlar, geçici bir çatı ile korunmuştur. Böylece montajın kuru bir şekilde yapılması inşaat sırasında yapıda meydana gelebilecek nemi önlemiştir (Resim 4-17).

LVL ladin duvar panelleri, 3,1 x 24 metre, 162-126 mm kalınlığında; çam / ladin CLT döşeme paneli, 2.45 x 15 m, meskenlerde 220 mm-180 mm, koridorda 120 mm ve çatıda 160 mm Ahşap malzemeler, yangına karşı alçı panellerle kaplanmıştır (Arcadia Oy Arkkitektitoimisto, 2019).



Resim 4-17: Montaj Çadırı ve Geçici Çatı (Tiainen, 2019).

Yapının taşıyıcı sistem tasarımından sorumlu olan Tomi Rautiainen'e göre, LVL'nin basınç dayanımı, yaygın olarak kullanılan betona benzerlik göstermektedir. LVL paneller, yük taşıma kapasitesi ve eğilme dayanımı nedeniyle çok katlı ahşap yapılar için yatay kuvvetlere karşı dayanıklı olduğu için CLT tercih edilmiştir (Tuulikki, 2018). Yapı döşemesi, CLT paneli, 3 cm kalınlığında ses yalıtımı ve tesviye şapından meydana gelmektedir.



Resim 4-18: Lighthouse Yapısı Yapım Aşaması (Tiainen, 2019).

Ahşap yapı elemanlarının yangına dayanımını sağlamak için yüzeyi alçı paneller ile kaplanmıştır. Yangına dayanımı 90 dakika olacak şekilde planlanmıştır. Yapıda yangın dayanımı ve akustik ihtiyacı ile 800-900 civarı alçı panel kullanılmıştır. İnşaat süreci içerisinde bu montajlar yaklaşık 5 hafta sürmüştür.

Çevre açısından bakıldığında, ahşap bir yapı sürdürülebilir, karbondioksiti bağlar ve yaşam döngüsü boyunca karbon deposu görevi görür. Lighthouse 2 000 m³ ten fazla ahşap ürün bileşenleri, yılda yaklaşık 700 otomobilin emisyonuna eşdeğer miktarda karbon depolamaktadır.

4.6. MJØSTÅRNET / BRUMUNDDAL, NORVEÇ (2019)

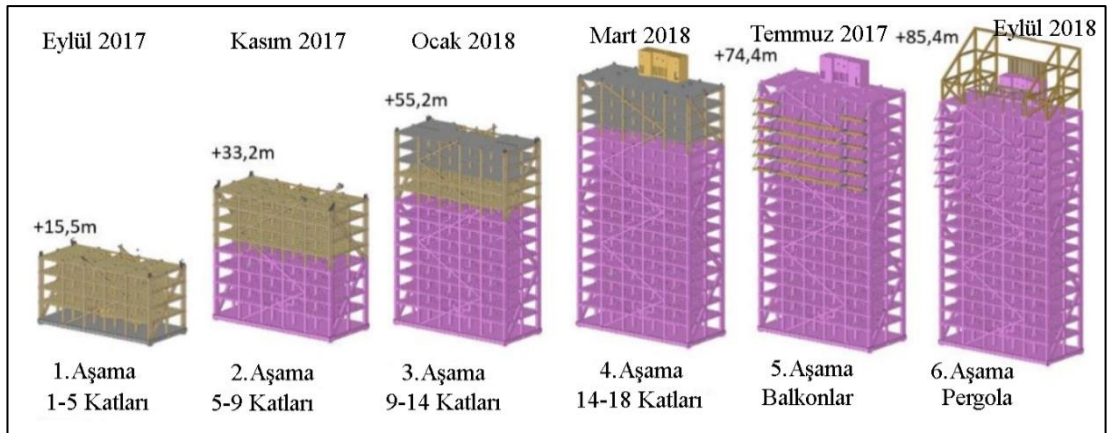
Mjøsa yapısı (Mjøstårnet), Norveç'in Brumunddal kentinde, ülkenin en büyük gölü olan Mjøsa'dan gölü kıyısında inşa edilen, 85,4 m yüksekliğinde karma kullanımlı ahşap bir yapıdır. Yapı, Mjøsa Gölü'ne ve çevresine bakmaktadır. "Mjøstårnet" adı Norveççedir ve "Mjøsa Gölü'nün kulesi" anlamına gelmektedir. Yapı, adını bu gölden almıştır. Ülkenin üçüncü yüksek binasıdır. The Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) tarafından dünyanın en yüksek ahşap yapısı olarak kabul edilmiştir.



Resim 4-19: Mjøstårnet Yapısı, Norveç (Url- 44).

Mjøstårnet inşa edildikten sonra, Dünyanın en yüksek ahşap yapısı ünvanını, ahşap- beton hibrit sistem bir yapıya sahip olan Vancouver'daki 53 metre yüksekliğindeki Brock Commons Tallwood House' dan almıştır. Norveç'in Bergen kentinde bulunan 49 metre yüksekliğindeki Treet, Mjøstårnet yapısı Mart 2019'da tamamlanana kadar tamamı ahşap olan, en yüksek yapı olarak sayılmaktaydı.

2017 yılının Nisan ayında kazı çalışmaları ile Mjøstårnet yapısının inşası başlamıştır. Ahşap yapıların montajına ise aynı yılda Eylül ayında başlanmıştır. Ahşap elemanlar fabrikada tüm işlemleri tamamlanarak hazır bir halde inşa alanına getirilmiş ve montaj aşamasına geçilmiştir. Yapının tamamlanması ve resmi olarak açılması 2019 yılında mart ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 4-17: Mjøstårnet Katları Yapım Tarihleri (Abrahamsen, 2018).

85,4 metre yüksekliğindeki kule, geneli yapılandırılmış lamine ahşap (Glulam), çapraz lamine ahşap (CLT) ve lamine kaplama ahşap (LVL) kullanılarak inşa edilmiştir. Yapı, yerel kaynaklar ve sürdürülebilir ahşap malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Brumunddal, Norveç'in büyük bir ormancılık ve ağaç işleme endüstrisine sahip bir bölgesi olduğundan, malzemeler yerel olarak tedarik edilmiştir. Mjøstårnet'te, yaklaşık 3.500 m³ ahşap eleman kullanılmıştır. Bu ahşap malzemelerin geneli inşa alanına yakın bulunan ormandan temin edilmiştir.

Yapı konutlar, ofisler ve otel odalarının bir karışımını barındırmaktadır. Binanın ahşap yapısı; döşeme elemanlarında LVL, asansör- merdivenler boşlukları ve balkonlarda CLT, kolonlarda ise glulam kullanılarak oluşturulmuştur (Şekik 4-22).

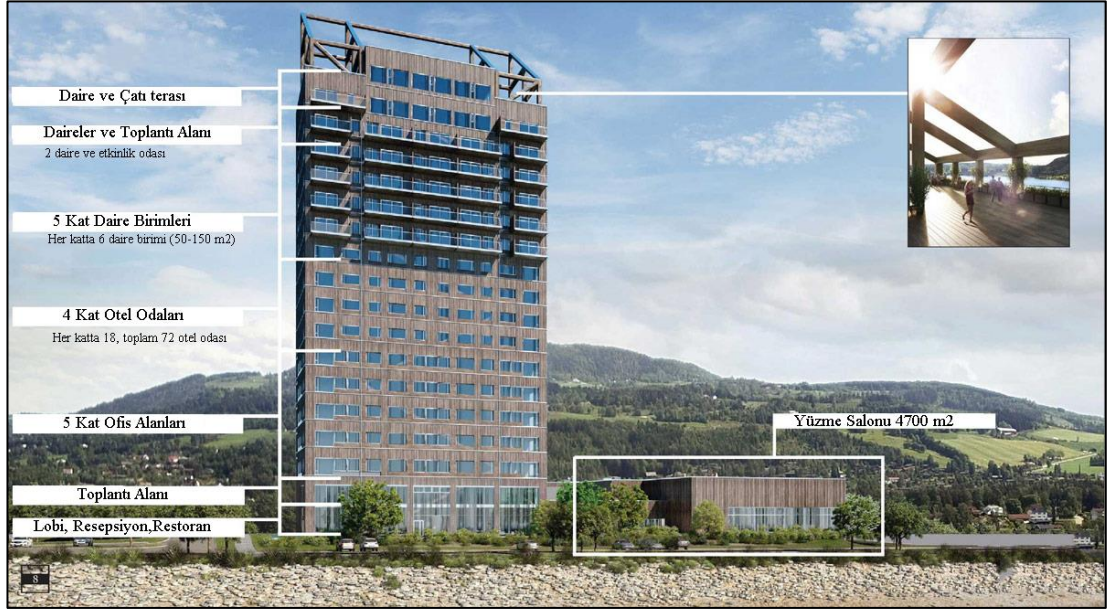
Mjøstårnet, sakinlerin, yerel halkın ve ziyaretçilerin yararlanabileceği tesislere sahip modern 17 m x 37,5 m oturma alanına sahip karma kullanımlı bir yapıdır. Katların her biri yaklaşık olarak 640 m² lik bir alana sahiptir. Voll Arkitekter firması tarafından tasarlanan 11.300 m² net alana sahip olan 18 katlı yüksek ahşap yapı, daireler, otel, restoran, teknik odalar, ofisler ve 4.700 m² lik bir kapalı yüzme salonu, ortak alanlar (konferans salonu, kafeterya) ve çatı katı terası içermektedir (Şekil 4-19)



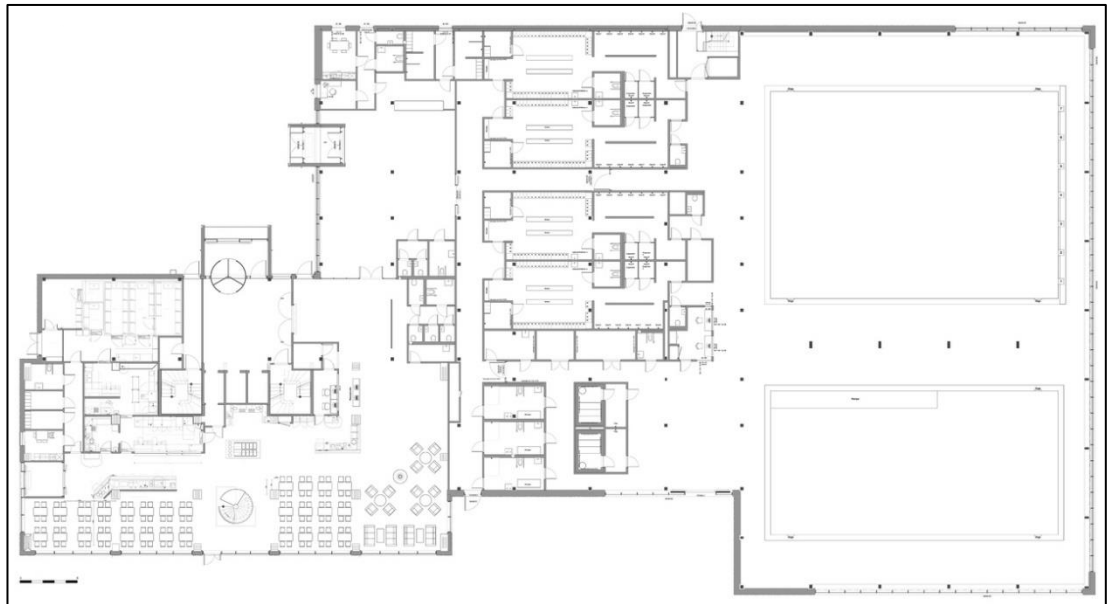
Şekil 4-18: Mjøstårnet Yapım Aşamaları (Abrahamsen, 2018).

Zemin katta, lobi, resepsiyon ve restoran bulunmaktadır. Ayrıca zemin katta Mjøstårnet yapısı bitişiğinde konumlanan 25 metre uzunluğunda iki adet yüzme havuzu bulunmaktadır İkinci katta toplantı odaları ve teknik tesisler için ayrılmıştır. Sonraki beş kat ofis alanıdır. Mjøstårnet'de, 8. katından 11. katına kadar her katta 18 oda olmak üzere 72 odalı bir otel mevcuttur. 12-16. katlarında, 50m² ile 180m²

arasında değişen göle bakan balkonlara sahip toplam 33 daire (her katta 6 daire) bulunmaktadır. 17. katta iki daire ile birlikte kutlamalar ve daha büyük konferanslar için kullanılan bir etkinlik odası, en üst katta ise bir çatı katı dairesi ve seyir terası bulunmaktadır. Terası daire sakinleri, ofis çalışanları ve otelde konaklayan insanlar kullanabilmektedir (Resim 4-20).

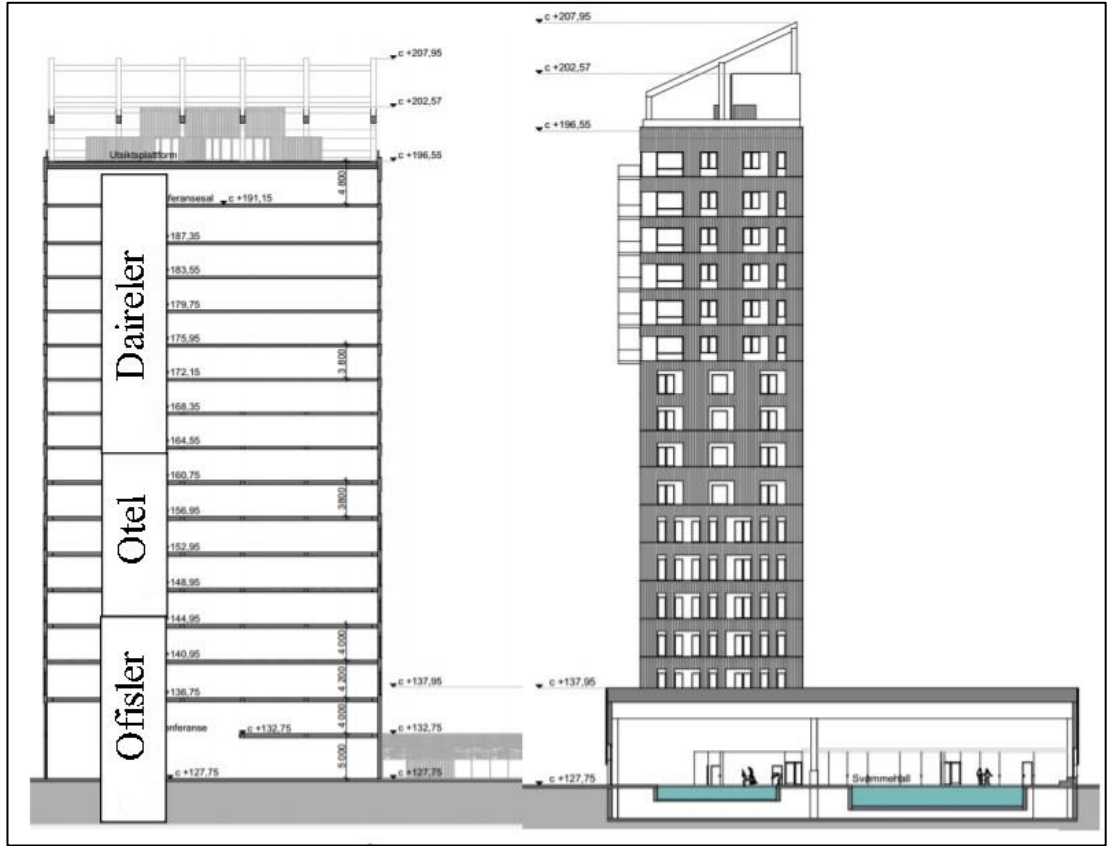


Resim 4-20: Mjøstårnet Yapısı Kat Bölümleri Ayrımı (Url- 45).



Şekil 4-19: Zemin Kat Planı (Url- 44), (Diğer Kat Planları Konu Sonunda verilmiştir).

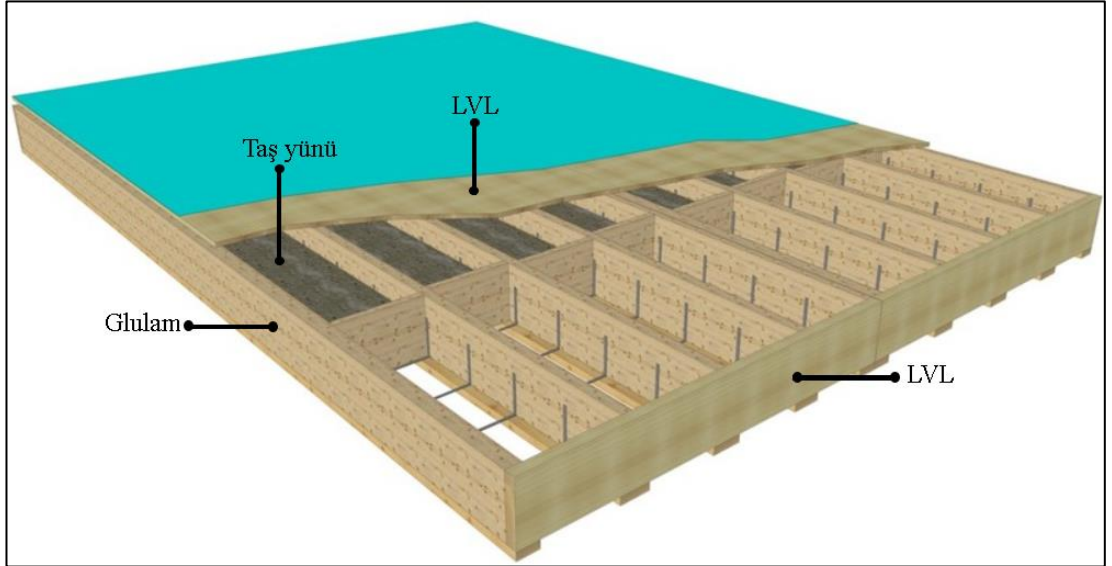
Mjøstårnet, Bergen'de inşa edilen 14 katlı ahşap Treet binası ile birçok benzerliğe sahiptir. Binanın taşıyıcı sisteminin ana yük taşıyıcısı, iç kolon ve kirişlerin yanı sıra tüm cephede büyük kesitli glulam kafeslerdir. Glulam kafesler yatayda ve düşeyde çalışarak iyi yönden gelen kuvvetleri karşılayarak binaya gereken rijitliği sağlamaktadır. CLT panel duvarlar, üç asansörün ve iki merdivenin bulunduğu çekirdeğin, ikincil yük taşınmasında kullanılmıştır. CLT, binanın yatay kuvvetlerine karşı kullanılmamıştır. Mjøstårnet'in Treet binasından daha yüksek olmasının yanında en büyük farkı modüler konstrüksiyonun kullanılmamasıdır. Yapı modülleri, alanların esnekliğini sınırlamaktadır. Bu yüzden Mjøstårnet'nin karma işlevli kullanım türünü uyumlu olmamaktadır. Bunun yerine prefabrik ahşap kolon, kiriş, duvar, döşeme ve dış cephe elemanları kullanılmıştır. Büyük prefabrik dış cephe elemanları binanın kabuğunu oluşturur. Bu sandviç tipi elemanlar, önceden sabitlenmiş yalıtım ve dış panellerle birlikte gelmektedir. Duvar elemanları binanın rijitliğine katkıda bulunmamaktadır (Abrahamsen, 2017).



Şekil 4-20: Mjøstårnet Kat Kesiti (Abrahamsen, 2017).

Yük taşıyıcı yapı, geleneksel binalara benzer, ancak elemanların boyutları normalden çok daha büyüktür: Ahşap kolonlar ortalama 60×60 cm, köşelerde kullanılan en büyükleri ise yaklaşık 60×150 cm dir. Mjösa Kulesi'nin dar ama geniş şekli otel odaları için idealdir. Hem farklı türdeki mekânlara yer sağlayan hem de kolonların iç mekânda çok baskın olmasını sağlayan dar bir plan düzeni üzerine kurulan yapı, 2018 New York Tasarım Ödülleri'nde en iyi karma mimari ödülünü kazanmıştır.

İlk on katta döşeme olarak Moelven firmasının üretmiş olduğu özel Trä8 döşemeleri kullanılmıştır (Şekil 4-21). LVL ve glulam elemanların birleşimi ile üretilen bir döşeme elemanıdır. Bu döşeme sisteminde iki yöndeki kirişler LVL yerine glulamdan yapılmaktadır. Döşemelerin baş ve sonlarındaki kirişler ise LVL kullanılmaktadır. LVL üst plakası, yapıştırıcı bir malzeme ile kirişlere monte edilmiştir. 90 dakika yangın dayanımını sağlayabilmek için, kirişlerin arasındaki taş yünleri çelik dirseklerle sabitlenmiştir. Mjöstärnet'teki maksimum açıklık 7,5 m'dir (Abrahamsen, 2017).



Şekil 4-21: Trä8 Döşemeleri (Abrahamsen, 2017).

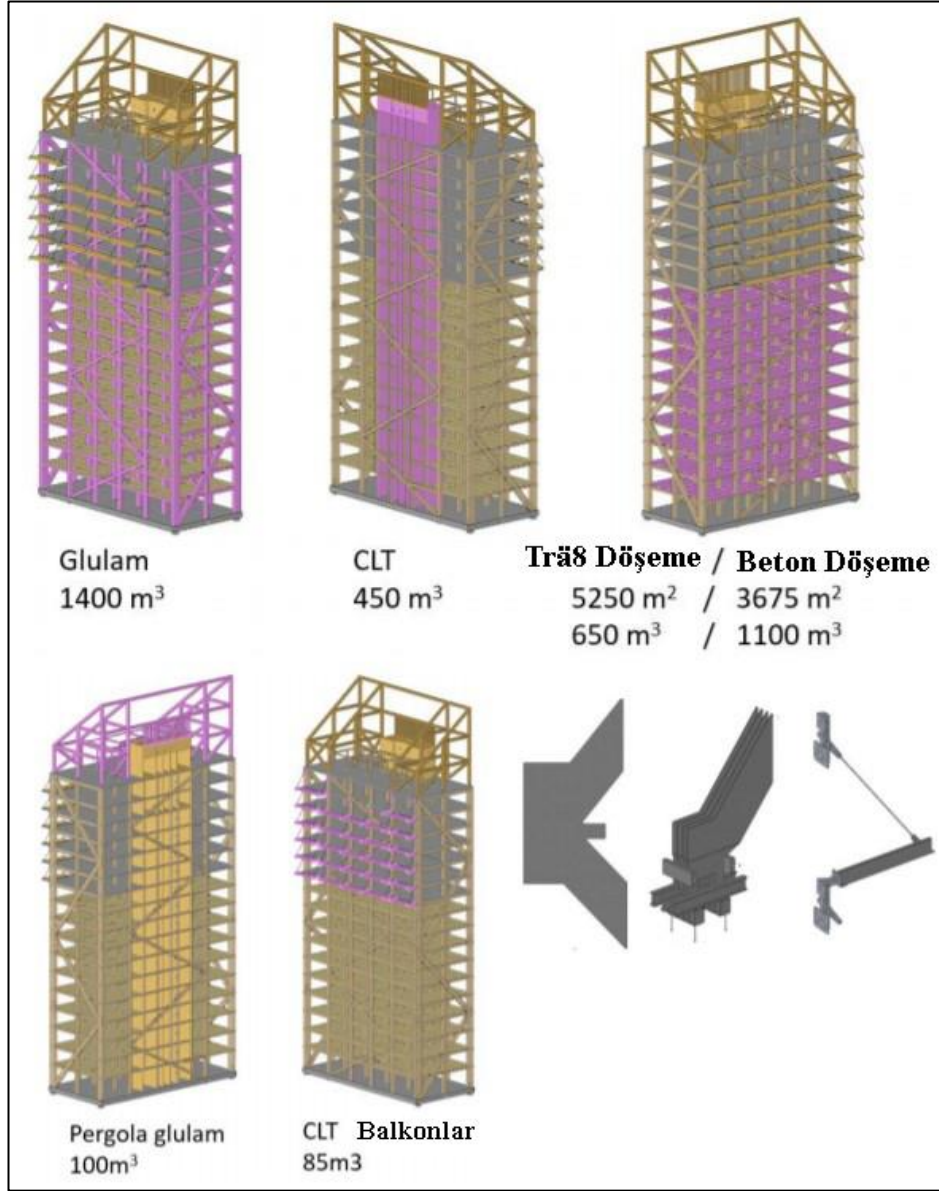
Dairelerin bulunduğu üst katlardaki döşemeler (son yedi kat döşemesi) betondan yapılmıştır. Bunun nedeni, ahşap veya betondan yapılmış bir binada yükseldikçe

sallanma miktarının artmasıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, üst katlarda ağırlığı yukarı doğru artırmak ve sallanmayı yavaşlatmak için beton döşeme kullanılmıştır. Betonun ağırlığı sallanmayı yavaşlatır ve fark edilmez hale getirir. Bina ayrıca 50 metre derinliğe kadar kazıklarla zemine sabitlenmiştir.



Resim 4-21: Trä8 Döşemelerinin Uygulanması (Abrahamsen, 2017).

Tüm glulam elemanları, delikli çelik plakalar ve dübellere kullanılarak bağlanmıştır. Bağlantılar köprü ve büyük binalarda yaygın olarak kullanılan yüksek kapasiteli bir bağlantıdır. Yapısal ahşap, cephe ve cam elemanların iç kısmında kalmıştır. Bu yöntem ahşabı yağmurdan ve güneşten korur, dayanıklılığını artırır ve gerekli bakımını azaltmaktadır (Abrahamsen, 2017), (Resim 4-22).

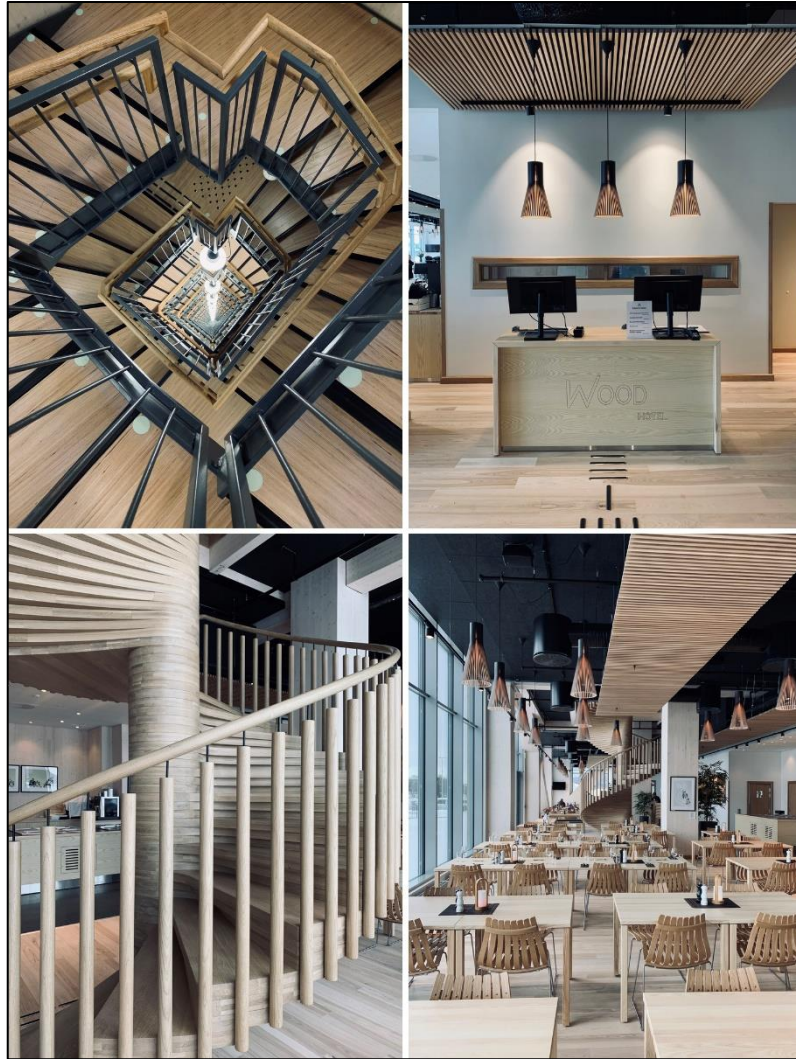


Şekil 4-22: Mjøstårnet Yapısında Kullanılan Ahşap Elemanlar
(Dış duvar elemanlarında kullanılan ahşap elemanlar hariç), (Abrahamsen, 2018).

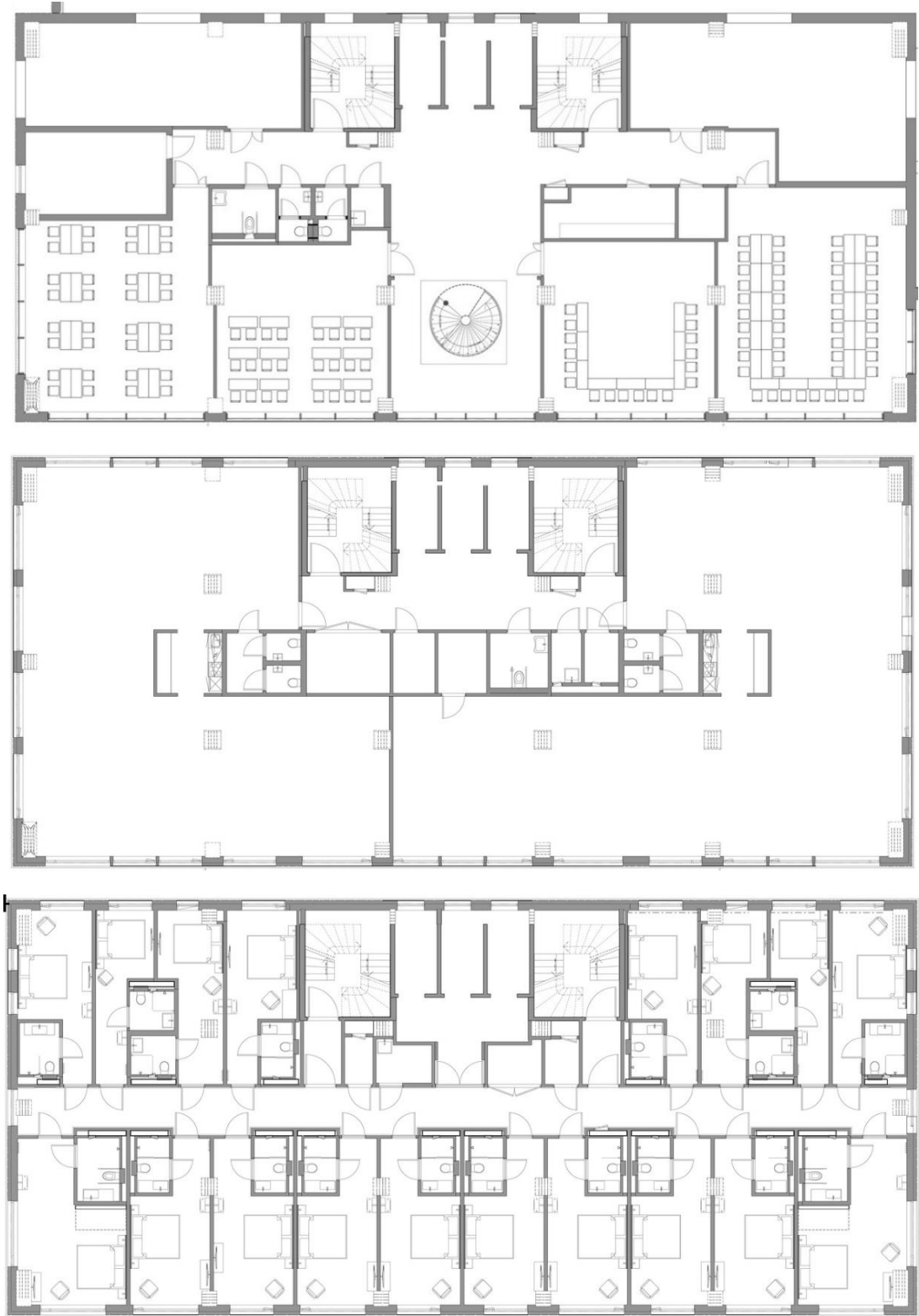
Ahşap elemanların alana taşınma sırasında, ahşap elemanların üzerine plastik bir örtü örtülerek veya ahşap plakalar kullanılarak geçici olarak korunması sağlanmıştır. Döşeme elemanlarının üst kısmı ise montajdan sonra bir membran örtülerek korunmuştur. Montaj sırasında ahşabın nem seviyesi birçok yerde izlenmiştir. Abrahamsen'a göre endüstriyel ahşap ürünlerden elde edilen deneyimler hem glulam hem de CLT'nin doğrudan hava koşullarına maruz kaldığında iyi bir şekilde karşılık verdiğini göstermektedir (Abrahamsen, 2018).



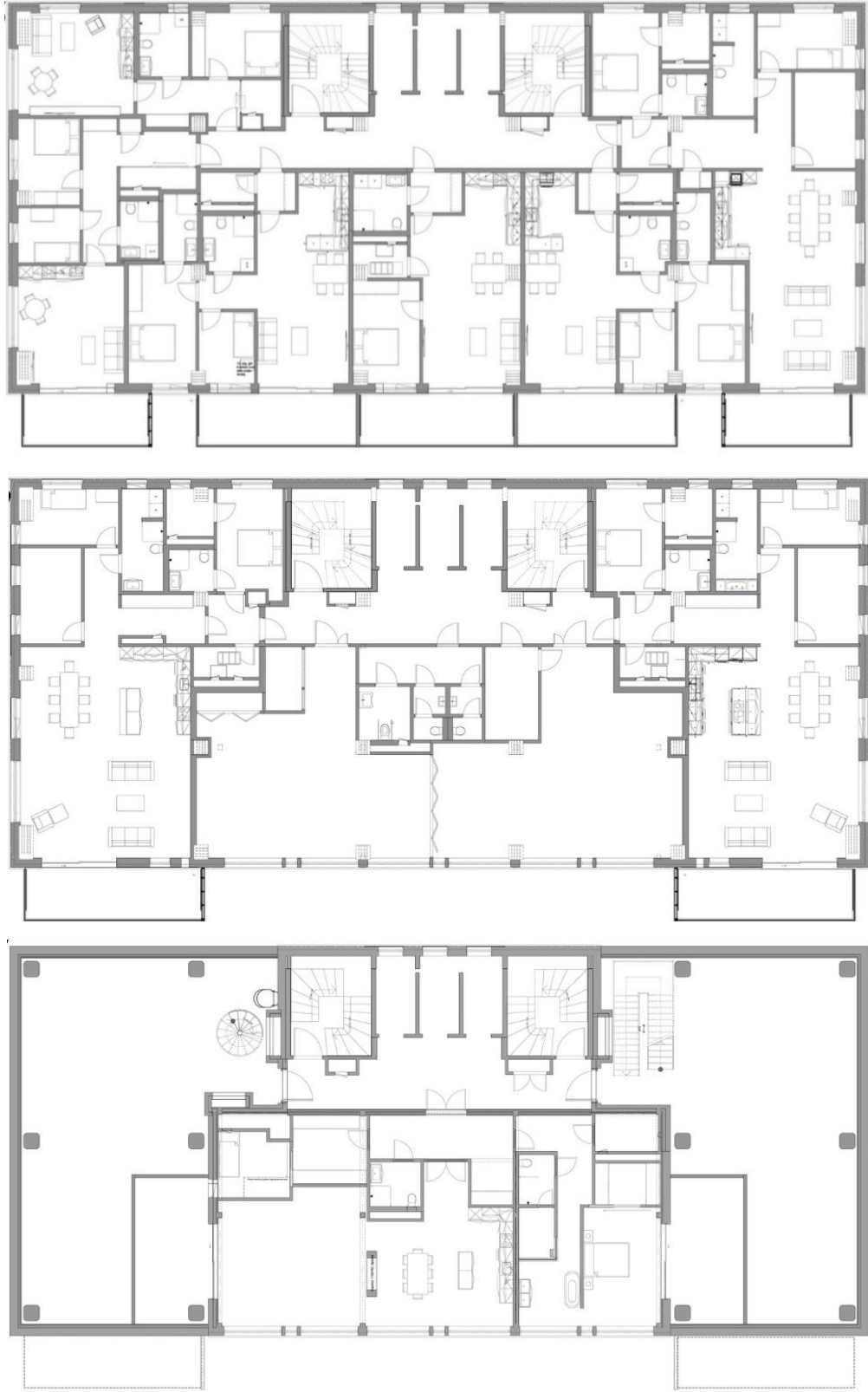
Resim 4-22: Mjøstårnet Yapısı Çelik Bağlantıları (Url- 45), (Url- 46).



Resim 4-23: Mjøstårnet, İç Mekân (Url- 44).



Şekil 4-23: Mjøstårnet Yapısı, Toplantı, Ofis, Otel Katları Planı (Üstten alta doğru)
(Url-44).



Şekil 4-24: Mjøstårnet Yapısı, Daire, Etkinlik Alanı ve Çatı Katları Planı (Üstten alta doğru) (Url-44).

SONUÇ

Ahşap, yapı malzemesi olarak, geçmişten günümüze kadar sıkça kullanılan malzemelerden biri olmuştur. 20.yy' da ahşap kullanımı diğer dönemlere nazaran daha yaygın olmuştur. Çünkü bu dönemlerde Dünya'da yaşanan bazı olaylar sonucunda artan konut ihtiyacı, daha hızlı ve uygun mal edilebildiğinden konut üretimi ahşap malzeme ile sağlanmıştır. 20.yy'dan sonrasında ise endüstrileşme ile birlikte yapılarda ahşap malzeme kullanımı azalmış, beton ve çelik yapı sistemleri ön plana çıkmıştır.

Endüstrileşme ile birlikte çevre kirliliğinin artması, doğadaki olumsuz etkiler gibi nedenlerden dolayı insan ve çevre kavramı önem kazanmış, bunun sonucunda yenilenebilir doğal kaynakların kullanımı gündeme gelmiştir. Ahşabın ekolojik, yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve gömülü enerji miktarının az olması gibi özelliklerinden dolayı önem kazanmış ve yapılarda kullanımı artmıştır.

Endüstrileşmeyle kentlerdeki nüfus oranının artması sonucunda konut yetersizliği meydana gelmiştir. Konut ihtiyacını karşılamada geleneksel yapım yöntemleri yetersiz kalınca yeni üretim sistemleri arayışına gidilmiş ve teknolojinin gelişmesiyle ihtiyaçlara yönelik yeni yapım sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Teknolojik gelişmelerle, ahşap yapı malzemesi de gelişim göstererek zamanla daha nitelikli hale gelmiştir.

Teknolojik gelişmeler, malzeme çeşitliliğinin artması gibi durumlar sonucu yapı alanı da endüstrileşme sürecine girmiştir. Böylece seri üretime uygun, fonksiyonel sistemler ön plana çıkmıştır. İlkel ve geleneksel üretim yöntemleri önemini yitirerek endüstriyel yapım teknikleri önem kazanmıştır. Üretimin sürekliliği, standartlaşma, iş gücü ve ekipmanın doğru kullanımı, iş kaybının azaltılması vb. gibi birçok durum endüstrileşen üretimin özellikleri olarak söylenebilir.

Yapı sektörünün de endüstrileşmesiyle ahşap yapı malzemesinin yapıda kullanımı artmıştır. Günümüzde teknolojik imkanlarla, ahşap malzeme ve yapıların

sorunlarına çözümler getirilmektedir. Böylece çok katlı yapılarda ahşap malzeme kullanılarak üretilmektedir.

Teknoloji ile paralel olarak ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımını artarak rasyonel kullanım düzeyine ulaşmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte ahşap, yapıların hemen hemen her yerinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bakıldığında her türlü ihtiyaca uygun ahşap yapı üretimi yapılabilmektedir. Teknolojinin sağladığı imkanlarla, yeni teknik ve detaylar geliştirilerek, ahşabın yapı üretimindeki kullanımı artarak devam etmektedir.

Ahşap, geniş kullanım olanaklarına sahip bir malzeme olduğundan 21.yy'da teknolojik gelişimle birlikte yapı üretiminde farklı form ve taşıyıcı sistemlerde kullanılabilen malzeme niteliğine ulaşmıştır. Ahşabın yapı üretiminde kullanımı günümüz teknolojisiyle birlikte daha kolay hale gelmiştir. Kanada, A.B.D., İngiltere, Almanya ve Norveç vs. gibi birçok gelişmiş ülkelerde ahşap yapı üretiminde ve çok katlı ahşap yapı uygulamalarında artan bir yoğunluğun olduğu görülmektedir.

21. yüzyıla gelindiğinde, nüfusla paralel olarak artan yapılaşma ve enerji kaynaklarının tüketimi, sürdürülebilir yaklaşımları gündeme getirmiştir. Ahşap yapı sektöründe yaşanan gelişmelerin etkisiyle, yeniden talep gören ahşap malzemenin kullanımı yapı üretimine yansımıştır. Ahşap malzemedeki sorunlar üzerinde araştırmalar ve incelemeler yapıldıktan sonra çözüm getirilerek, endüstriyel ahşap yapı elemanları üretilmiştir. Sonrasında ahşap ürünleri ve ahşap yapı sistemlerine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Ahşap günümüzde birçok endüstriyel işleme tabi tutularak, yapı üretimi için yeni malzemeler üretilen bir malzemedir. Farklı işlemlerden geçirilerek dilimlenen ve öğütülen malzeme daha sonra kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak, masif ahşaptan farklı yeni bir malzeme oluşturulmaktadır. Endüstriyel ahşap da denilen bu malzemeler sayesinde geniş açıklıklı ve çok katlı yapıların üretimi mümkün olmaktadır. Endüstriyel ahşabın masif ahşaba göre birçok avantajı bulunmaktadır. Masif ahşapta görülen sorunlar ve deformasyonlar, endüstriyel ahşapta

görülmemektedir. Endüstriyel ahşap yapı elemanlarına istenilen formun verilebilmesi, boyutsal yapısı gibi nedenlerden dolayı mimari tasarımlardaki beklentileri karşılayabilmektedir.

Bu çalışma da endüstriyel ahşap yapı elemanlarının, boyutsal yapısı, hafifliğine karşın mukavemeti, istenilen kesit kalınlığında ya da formda üretilebilmesi, tasarım esnekliği, istenilen ölçüde ve miktarda üretimi gibi tasarımcıya sağladığı avantajları yönünden incelenerek yapılarda kullanımı değerlendirilmiştir. Endüstriyel ahşap yapı elemanlarıyla, malzemenin görsel olarak algılanması istenilen tasarımlarda açıkta bırakılabilmesi, geniş açıklıklı mekânların kapatılabilmesi ve çok katlı yapılarda kullanılması vb. gibi avantajlarıyla tasarımcıların beklentilerini karşılamakta ve yapılarda kullanımı giderek çoğalmaktadır. Ahşap yapı sektöründeki gelişmeler, çeşitli birleştirme teknikleri ve endüstriyel ahşap türlerinin artmasına neden olacak bu da beraberinde ahşap yapı elemanlarının özelliklerinin daha fazla gelişimine imkân sağlayacaktır.

Prefabrik üretilebilen, gelişmelere açık, hızlı ve standart üretim olanağı, yenilikçi çözümlerin kullanıldığı, inşa süresinin kısalması, montajının kolay olması gibi önemli özelliklere sahip ahşabın kullanımı, çok katlı yapı üretimine yansımıştır. Yapıda ahşabın kullanımı CO₂' yi doğrudan depolayarak (tutarak) çevreyi olumlu yönde etkilemektedir. Endüstriyel ahşaba yapılan işlemlerle betonla aynı basınca dayanabilen bir malzeme oluşmuş bu da yapı tasarımında beton ve çeliğe bir alternatif sunmuştur. Beton ve çelik kadar kullanımı sık olmasa da her geçen gün çok katlı ahşap yapı uygulamaları artmakta ve birçok ülkede ahşap sistemler ile yapılan yapılar çoğalmaktadır. Günümüzde Avustralya, Norveç, Kanada, Amerika ve Avrupa ülkelerinin de birçoğunda çok katlı ahşap yapılar inşa edilmektedir.

Günümüze kadar gelinen süreçte, yapıda endüstriyel ahşap ürünlerin kullanımı artmıştır. Bunda prefabrik üretilmesi, CNC makineleri ile büyük parçalar şeklinde elemanlar üretilmesi, az sayıda ekip kullanımı ile işçilik maliyetlerinin azaltılması, yine makineler yardımıyla yapı elemanlarının yapıda yerlerine yerleştirilmesiyle inşaat sürecinin kısalması gibi nedenler oldukça etkilidir.

Çalışmada, endüstriyel ahşap ürünlerin özellikleri açıklanarak üretim aşamaları anlatılmış, avantajlarından bahsedilerek yapıda nerelerde kullanıldıklarına yer verilmiştir. Çok katlı ahşap yapılarda genellikle ana taşıyıcı strüktürlerinde kullanılan malzemenin CLT ve Glulam olması, diğer endüstriyel ahşap malzemeler (LVL, NLT, DLT gibi) ise döşemelerde daha çok tercih edildiği görülmüştür. İnceleme sonucu ahşap endüstrisinin gelişmiş olduğu yerlerde daha fazla çok katlı ahşap yapıların yapıldığı gözlemlenmiştir. Ahşabın sürdürülebilir ve çevre dostu bir malzeme olmasından dolayı, incelenen örnek yapıların çoğunun ödül ve sertifikası bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında 21. yy' da endüstriyel ahşap elemanlar ile inşa edilen ve inşa yılı 2012 ve sonrası olan çok katlı ahşap yapı örnekleri kronolojik olarak incelenmiştir. İncelenen yapılar, 2012 yılında inşa edilen forte yapısı ile başlanarak 2019 yılında yapımı tamamlanan Mjostarnet ve Lighthouse yapıları ile son bulmuştur. İncelenen örnek yapılarda; kullanılan ahşap elemanların miktarları, yapılarda endüstriyel ahşap malzemelerden hangi türünün kullanıldığı ve yapıda nerelerde kullanıldığı belirtilmiştir.

KAYNAKÇA

- Abrahamsen, R. B., ve Malo, K. A.,** (2014). "Structural Design And Assembly Of "Treet"- A 14-Storey Timber Residential Building In Norway", World Conference on Timber Engineering (WCTE), 10-14 Ağustos 2014, Quebec City.
- Abrahamsen, R. B.,** (2015). "First 14-storey wood building in the world at Bergen in Norway", 5 ème Forum International Bois Construction FBC 2015.
- Abrahamsen, R.,** (2018). Mjøstårnet- 18 storey timber building completed, 24. Internationales Holzbau-Forum IHF 2018, 5-7 Aralık 2018, Garmisch.
- Abrahamsen, R.,** (2017). Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building. Internationales Holzbau-Forum IHF 2017, 3-5 Aralık 2017, Garmisch
- Acton Ostry Architects Inc.,** (2015). Student Residence at Brock Commons, Advisory Urban Design Panel, 9 April 2015, Vancouver.
- Affentranger vd.,** (2000). "Bauten und Fassaden mil Holz", Prix Lignum, Baufachverlag AG, Zurih, ss.18, 55.
- AF&PA.** (2006). "Structural composite lumber & glued laminated timber awareness guide". Washington, DC: American Forest & Paper Association.
- Aichholzer vd.,** (1999). Mehrgeschossiger Wohnbau In 6sterreich -Rahmenbauweise, proHolz Austria, Viyana, ss. A3-A9, C5/2-C5/5.
- Allen, E.,** (1999). Fundamentals of Building Construction Materials and Methods, Third Edition, John Wiley & Sons, USA.
- Amann, F., Brucker, J., vd.,** (1997), 'Wohnungen in Holzbauweise', Stuttgart, Almanya.
- American Wood Council,** publication: adhesives awareness guide section: Adhesives used in modern engineered wood products.
- APA Engineered Wood Handbook,** (2001). Williamson Th.G. (Ed.), Chapter: Six Zhaozhen Bao, PhD Associate Scientist, TSD. 16 October 2001.
- Arcadia Oy Arkkitehtitoimisto,** (2019). Lighthouse Joensuu, PUU Magazine 3/2019.

- Avlar, E.**, (2003), "Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu 15-16 Şubat 2002, Y.T.Ü. Oditoryumu", T.M.M.O.B. Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 1.Baskı, İstanbul.
- Avlar, E.**, (2003). "Ahşap Çerçeve Yapıların Strüktürel Tasarımı", Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, 15-16 Şubat 2002, İstanbul.
- Avlar, E.**, (2008), Türkiye’de Ahşap Yapı Üretimine Yönelik Durum Tespiti. Mimarlıkta Malzeme, (8), 71-77
- Avlar, E., Limoncu, S.**, (2001). Yapı malzemesi olarak ahşap ve ahşap yapı sistemleri, Yapı Dergisi, 241:87-90.
- Avlar E. ve Ustaoglu S.S.**, (2017). "2000’li Yılların Başında Endüstriyel Ahşap Ürünlerle Gelişmiş Yapı Üretimi", Mimarlık Dergisi, ss.75-80.
- Ayaz, C.**, (2011). "Çok Katlı Sürdürülebilir Yapı Tasarımında Ahşabın Strüktürel Olarak Kullanım Olanakları ve Dünyadaki Örnek Uygulamalar", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barbu M.C., Réh R., Irle, M.**, (2014) Wood–Based Composites. In: Alfredo A., Paulo D., editors. Research Developments in Wood Engineering and Technology. IGI Global; Hershey, PA, USA: 2014.
- Beck, K., Salenikovich, A., Beauregard, R.**, (2009). Development of a new engineered Wood product for structural applications made from trembling aspen and paper birch. Forest Prod. J. 59 (7/8), 31–35.
- Bilgin, H.**, (2009), "Ahşap Yapıların Tarihsel Süreç İçindeki Gelişimi ve Günümüzde Ahşap Yapı Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Bilici, S.**, (2006), "Ahşap Konut Üretim Sistemleri; Almanya Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Konya.
- Bjertnaes, M. A., Malo, K. A.**, (2014). "Wind-Induced Motions Of "Treet"- A 14-Storey Timber Residential Building In Norway", World Conference on Timber Engineering (WCTE), 10-14 August 2014, Quebec City.

- Brownell, B.**, (2016). “T3 Becomes the First Modern Tall Wood Building in the U.S.”, The Journal of the American Institute of Architects, Architect Magazine
- Burchell, J. ve Sunter, F.W.**, (1987). Design and Build in Timber Frame, Longman Scientific & Technical, England.
- Cai, Z., and Ross, R. J.** (2010). “Mechanical properties of wood-based composite materials,” In: *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, Madison, 12-1-12-12.
- Canadian Wood Council (Cwc)**, (2018). Brock Commons Tallwood House University Of British Columbia Vancouver Campus, the Advent of Tall Wood Structures in Canada: A Case Study, 2018.
- Cecobois**, (2018). Pointe-aux-lièvres ecocondos quebec city, Quebec City.
- Cheret, P., Grohe, G., vd.**, (2000), ‘Holzbau handbuch, Informationsdienst Holz, R/1T/1F/4 Holzbausysteme’, Düsseldorf, Almanya.
- Çakır, S.**, (2000). Geleneksel Karadeniz Ahşap Konut Yapım Yönteminin Çağdaş Teknoloji Açısından Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E., Yüncüler, M.**, (2019). Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünyü, Bugünü ve Yarını. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 6. 10.35193/bseufbd.531012.
- DLT Profile Handbook**, (2017). Dowel Laminated Timber, Structure Craft, Mass Timber | Signature Structures
- Douglas, B. ve Karacabeyli, E.**, (2013) CLT Handbook: Cross-Laminated Timber, FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013
- Dündar, T.**, (2019) “Modern Ahşap Yapılar; Bilmeniz gereken birkaç husus” Seminer, İstanbul.
- Erdinç J., Özcan U., Duran G.**, (2019). Yarı Prefabrikasyon Ahşap Paneller ve Lamine Kirişler ile Üretilen Ekolojik Yaklaşımlı Konut Tasarımı ve

Uygulaması: Sincap Evler Projesi. 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 10-12 October, / Ankara / Turkey.

Eren, T., (2004). Konut Yapımında Gelişmiş Ahşap ve Hafif Çelik İskelet Sistemlerin Temel Yapı Elemanları Düzeyinde Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Erenman, Ö., 1988. Ahşap Yapı Sistemleri Ders Notları, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.

Eriç, M., (1994). Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul, 1994.

Erkoç, E., (2004). Günümüz Teknolojileriyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Fallahi, A., (2017). Innovation in Hybrid Mass Timber High-rise Construction A Case Study of UBC's Brock Commons Project, British Columbia University, Vancouver.

Fast, P., Gafner, B., Jackson, R. Ve Li, J. (2016). "Case Study an 18 Storey Tall Mass Timber Hybrid Student Residence At the University of British Columbia", World Conference on Timber Engineering, 22-25 Ağustos 2016, Vienna.

Ferguson, I. et al. 1996, Environmental Properties of Timber.

Frühwald, A., Pohlmann, C., (2002), 'Nachhaltiges Bauen mit Holz, Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung', München, Almanya.

Gagnon, S., Pirvu, C., (2011). CLT handbook: crosslaminated timber. Québec, CA: FPInnovations, 2011. 594p.

Gagnon, S., Pirvu, C., (2012). Cross-laminated timber (ÇTK) handbook. FPInnovations, Vancouver, Canada. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. PointeClaire, QC: FPInnovations. pp. 594.

- Gagnon, S., Crespell, P.,** (2010). Cross Laminated Timber: a Primer. FPInnovations. Special publication. pp.52.
- Ghiyasinab, M., Lehoux, N., Ménard, S., & Cloutier, C.** (2018). Using Lean Techniques and Simulation to Improve the Efficiency of Engineered Wood Production: A Case Study in a Small Factory. *Industrial Engineering and Management*, 7, 1-11.
- Gong, M.,** (2019). "Lumber-Based Mass Timber Products in Construction", Publisher: IntechOpen, Year of Publication: 2019, United Kingdom.
- Götz, K., Hoor, D., Möhler, K. ve Natterer, J.,** (1989). Timber Design and Construction Sourcebook, McGraw-Hill Publishing Company, USA.
- Gül, N., Güzelçoban Mayuk, S.,** (2019). "Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının İncelenmesi": The Tree, Kent Akademisi, Volume, 12 (37), Issue 3, Pages, 586-599
- Halıcıoğlu, F.H.,** (1999). "Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemleriyle üretilen yapılarda betonarme elemanların dayanıklılığını olumsuz etkileyen etkenlerin irdelenmesi", Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniv., İzmir, 1999.
- Herzog, T., Notterer, S., Schweizer, R., vd.,** (2003), 'Holzbau Atlas', München, Almanya.
- Herzog vd.,** (2003), Holzbauatlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, Münih, ss.48, 74-75.
- Hughes, M., & Ansell, M. P.** (2015). "Plywood and other veneer-based products", In M. Ansell (Ed.), *Wood Composites* (pp. 69-89). (Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering) Woodhead Publishing.
- Kaya, G.,** (1997). "Yapı Üretim Sisteminde Denetim Mekanizması", Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Ankara, 1997.
- Kitek Kuzman M, Sandberg D.,** (2017). Comparison of timber-house technologies and initiatives supporting use of timber in Slovenia and in Sweden- the state of the art. *iForest* 10: 930-938.- doi: 10.3832/ifor2397-010

- Kleppe, O.H.**, (2016). "The Construction of Treet- How did we do it?", Construction of Treet- How and Why Vancouver, International Wood Symposium, 2016.
- Kocataşkın, F.** (1966). Yapı Malzemesi Olarak Ahşap. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Krämer, S., Lederer, A., vd.**, (2002), "Wohnbauen in Deutschland", Stuttgart + Zürich, Almanya.
- KUDEB**, (2009). KUDEB Ahşap Eğitim Atölyesi, "Geleneksel Ahşap Yapı Uygulamaları" İBB KUDEB Yayınları, Yayın No: 2, İstanbul.
- Kuzman, M. K., Oblak, L. ve Vratuša, S.**, (2010). Glued Laminated Timber in Architecture, Drvna industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije, Vol. 61 No. 3.
- Kurt, R., Aslan, K., Cil, M., and Cavus, V.** (2012). "Properties of parallel strand lumber from two hybrid poplar clones using melamine urea formaldehyde adhesive," *BioRes.* 7(3), 3711-3719.
- Kurt, R., and Cavus, V.** (2011). "Manufacturing of parallel strand lumber (PSL) from rotary peeled hybrid poplar I-214 veneers with phenol formaldehyde adhesives," *Wood Res* 56(1), 137-144.
- Kurt, R., Meriç, H., Aslan, K., and Cil, M.** (2012). "Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing using three hybrid poplar clones," *Turk. J. Agric. For.* 36, 237-245.
- Lawson, W.R.**, (1996). Timber in Building Construction: Ecological Implications. Research Paper commissioned by the Timber Development Association of New South Wales.
- Littman, J.**, (2017). San Jose Embarks On Modular Construction For Supportive Housing. Retrieved March 22, 2018.
- Liu, Y., and Lee, A. W. C.** (2003). "Selected properties of parallel strand lumber made from southern pine and yellow poplar," *Holzforschung* 57, 207-212.

- Lvl Handbook Europe**, (2020). “Laminated Veneer Lumber”, Federation of the Finnish Woodworking Industries.
- Malo, K.A., Abrahamsen R.B., ve Bjertnaes M.A.**, (2016). “Some structural design issues of the 14-storey timber framed building ‘Treet’ in Norway”, *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3): 407–424.
- Mengeloğlu, F., Kurt, R.**, (2004). “Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler 1, Tabakalanmış Kaplama Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM)”, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), sf.39-43.
- Mestek, P., Werther, N., Winter, S.**, (2010). *Building with Cross Laminated Timber –Load-bearing solid wood components for walls, ceilings and roofs*, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal, pp. 67-70.
- Midon M. S., Pun C. Y., Tahir H. M., Kasby N. A. M.**, (1996). ‘Construction Manual Of Prefabricated Timber House’, FRIM Technical Information Handbook No. 5.
- Migliani, A.**, (2019). "What is Glued Laminated Wood (Glulam)?" (O que é Madeira Laminada Colada (MLC ou Glulam)?) 19 Nov 2019. ArchDaily. (Trans. Franco, José Tomás)
- Mohammad, M., Jones, R., Whelan, M., ve Coxford, R.** (2018). “Canada ’ S Tall Wood Buildings Demonstration Projects”, *World Conference on Timber Engineering*, 20-23 Ağustos 2018, Seul.
- Moudgil, M.**, (2017). *Feasibility Study of Using Cross-Laminated Timber Core for the Ubc Tall Wood Building*, Master Thesis, The Faculty Of Graduate And Postdoctoral Studies (Civil Engineering) at The University Of British Columbia, Vancouver.
- Murphey, W., ve Jorgensen, R.** (1974). *Wood As An Industrial Arts Material*. Pergamon Press Inc.
- NLT Handbook**, Nail-Laminated Timber: U.S. Design & Construction Guide v1.0.
- Oberholzer, M.**, (2016). “Building complex Arbora (434 residential units) in Montreal and Origine (13 storeys) in Quebec City”, 22. Internationales Holzbau-Forum (IHF), 7-9 Aralık 2016, Garmisch Partenkirchen.

- O'Brien, M. J.**, (2010). Hybrids on the Way to the Western Platform Frame: Two Structures in Western Virginia, Offprint From Preservation Education & Research Volume Three, 2010.
- Oliver L., Rodger C., Clarke S.**, (2012). "Motat Aviation Display Hall – Timber Engineering Case Study", World Conference on Timber Engineering, 15- 19 July 2012, Auckland New Zealand. Session 33.
- Ong, C. B.**, (2015). "Glue-laminated timber (Glulam)", M. P. Ansell (Ed.), Wood Composites, syf: 123-140, Woodhead Publishing.
- Özcan U., Duran G., Erdinç J.**, (2019). Çok Katlı Bina Kavramı ve Konut İlişkisi. International Design and Engineering Symposium Sustainability, Innovation, Production, 10-12 October / İzmir / Turkey.
- Özcan, U., Erol, İ.**, (2018). Mimari Tasarımda Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları, II. International Symposium On Multidisciplinary Academic Studies, 16-17 November, İstanbul/ Turkey.
- Öztank, N.**, (2004). Orta Yükseklikteki (4 – 8 kat) Konut Yapılarında Ahşap Teknolojisinin Uygulanabilirliği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi. İzmir.
- Parlar, Y. E.**, (2000). Ahşap Prefabrike Sistemler ve Uygulama Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Perker, Z. S., Akıncıtürk, N.**, (2009). "21. Yüzyılda Ahşap Konut Üretim Teknikleri ve Uygulanan Sistemler" Mimarlıkta Malzeme, S14, S.49- 54.
- Perkins + Will**, (2014). Summary Report: Survey of International Tall Wood Buildings, Forestry Innovation Investment, Binational Softwood Lumber Council, 2014.
- Porteous, J. and Kermani, A.**, (2013). Structural Timber Design to Eurocode 5. Wiley, Oxford.
- Riberholt, H.**, (2007). Performance of old glulam structures in Europe, Rapport, BYG.DTU R-177.
- ReThink Wood**, (2014). "Tall Wood Takes a Stand", Educational Advertisement.

- Stark, N., & Cai, Z., & Carll, C.,** (2010). Wood-Based Composite Materials-Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood-Nonwood Composite Materials. Wood hand-book: Chapter: 11
- Structure Craft,** (2017). Dowel Laminated Timber Mass Timber Design Guide, Ver. 3. Abbotsford, BC, Canada: StructureCraft; 2017. 24 p
- Structure Craft,** (2019). DLT Design and Profile Guide: Dowel Laminated Timber-The All Wood Mass Timber Panel, Timber Engineering & Construction, Ver. 4 March 2019, USA.
- Swedish Wood,** (2016). Design of Timber Structures Volume 1, Stockholm: Swedish Forest Industries Federation, 2016.
- TRADA,** (1987). Timber Frame Construction, Trada, High Wycombe, 1987.
- TRADA,** (2009). The Globe at CERN, Geneva Case study, A relocatable exhibition pavilion made entirely of Wood. TRADA Technology Ltd 2009.
- The CLT Handbook,** (2019). Swedish Wood CLT Structures – Facts and Planning Stockholm, May 2019.
- Tiainen, K. ve Mertanen, V.,** (Ed) (2019). Puu korkeassa kaupunkirakentamisessa (Wood in high urban construction), Karelia University of Applied Sciences Publications C: Reports, 56
- Togay, A.,** (2002). Ahşap Yapılar, Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Tuulikki, T.,** (2018). “Suomen korkein puukerrostalo: pian harjakorkeudessa Joensuussa”, RIA 4/2018, syf: 24-29.
- Yeh, B., & Kretschmann, D., & Wang, B.,** (2013). USA CLT Handbook Chapter 2 CLT Manufacturing.
- Yesügey, S.C., Kahraman, Ö. Y., Güzel, N.,** (2014). Ahşap Malzemeli Konut Teknolojisi, Yalın Yayıncılık, İstanbul, 2014.
- Yesügey, C.,** (2002) Büyük Açıklıkları Geçebilen Çağdaş ve Estetik Bir Strüktür Sistemi Tutkallı Tabakalı Ahşap Teknolojisi, Yapı, 249 (2002) 93-96

- Wölf, G.**, (2016). Timber- the construction material for the future. Retrieved April 25, 2018.
- Wang, B., Pirvu, C., Lum, C.**, (2013), “Cross-Laminated Timber Manufacturing”, CLT Handbook, (ed) Erol Karacabeyli and Brad Daouglas, Chapter 2, US Edition, Special Publication SP-529 E, FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, Pointe-Claire, QC., sf.1-15.
- Weinand, Y.** (2017). Advanced Timber Structures: Architectural Designs and Digital Di-mensioning, Birkhäuser, Basel, Switzerland.
- Winter, S., Kehl, D.**, (2002), ‘Holzbau handbuch, Informationsdienst Holz, R/3T/1F/2 Holzhäuser Werthaltigkeit und Lebensdauer’, München, Almanya.
- Winter, S., Kehl, D.**, (2002), ‘Untersuchung zur Objektivierung der Bewertung des Verkehrswertes von Gebäuden in Holzbauweise im Vergleich zu anderen Bauweisen’, Leipzig, Almanya.

İNTERNET KAYNAKLARI

- Url-1** <<https://fineartamerica.com/featured/el-tronco-de-los-arboles-album.html>>, erişim tarihi 24.03.2021.
- Url-2** <<https://www.artifex-blockbau.de/neues.html> >, erişim tarihi 25.03.2021.
- Url-3** <<https://masterdel.ru/master/?p=ZhukovUV>>, erişim tarihi 27.03.2021.
- Url-4** <<https://www.thinkwood.com/light-frame-and-prefab>>, erişim tarihi 2.04.2021.
- Url-5** <<https://www.keywordsbasket.com/YmFsbG9vbiB3YWxsIGZyYW1pbmc/>>, erişim tarihi 5.04.2021.
- Url-6** <<http://old.ecodom.su/postroeno/2013/k1m-207-1>>, erişim tarihi 7.04.2021.
- Url-7** <https://www.architectmagazine.com/design/heres-how-prefab-needs-to-be-fixed-before-it-can-save-housing_c >, erişim tarihi 10.04.2021.
- Url-8** <<https://www.archdaily.com/928387/what-is-glued-laminated-wood-glulam>>, erişim tarihi 10.04.2021.

- Url-9** <https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2018/07/Designing-Sustainable-Prefabricated-Wood-Buildings_Think-Wood-CEU.pdf>, date retrieved 13.04.2021.
- Url-10** <<https://www.swedishwood.com/building-with-wood/about-glulam/glulam-and-the-environment/>>, erişim tarihi 15.04.2021.
- Url-11** <<https://www.e-architect.com/switzerland/globe-science-innovation-cern>>, erişim tarihi 15.04.2021.
- Url-12** <<https://www.atelier-brueckner.com/en/cern-universe-particles>>,
Url-13 <<https://www.inexhibit.com/mymuseum/globe-de-la-science-et-de-linnovation/>>, erişim tarihi 18.04.2021.
- Url-14** <<https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/think-wood/designing-sustainable-prefabricated-wood-buildings/3/>>, erişim tarihi 20.04.2021.
- Url-15** <<https://www.archiexpo.com/prod/stora-enso/product-97776-1411543.html>>,
Url-16 <<https://www.archdaily.com/935839/synegetic-office-uenoa>>, erişim tarihi 22.04.2021.
- Url-17** <https://www.archdaily.com/230234/motat-aviation-display-hall-studio-pacific-architecture?ad_medium=gallery>, erişim tarihi 23.04.2021.
- Url-18** <<https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-columns/>>, erişim tarihi 25.04.2021.
- Url-19** <<https://karmatrendz.wordpress.com/2011/06/18/rix-centre-for-ocean-discoveries-by-de-hoog-kierulf-architects/>>, erişim tarihi 25.04.2021
- Url-20** <<https://www.naturallywood.com/project/bamfield-marine-centre/>>, erişim tarihi 27.04.2021.
- Url-21** <<https://www.apawood.org/structural-composite-lumber>>, erişim tarihi 29.04.2021.
- Url-22** <<https://patkau.ca/projects/audain-art-museum/>>, erişim tarihi 02.05.2021.
- Url-23** <<https://archello.com/project/audain-art-museum>>, erişim tarihi 04.05.2021
- Url-24** <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/audain-art-museum_o>, erişim tarihi 07.05.2021.

- Url-25** <https://www.archdaily.com/873187/audain-art-museum-patkau-architects/5938ab66e58ece9b3000018b-audain-art-museum-patkau-architects-ground-level?next_project=no>, erişim tarihi 08.05.2021.
- Url-26** <<https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/think-wood/designing-sustainable-prefabricated-wood-buildings/3/>>, erişim tarihi 10.05.2021.
- Url-27** <<https://www.thinkwood.com/mass-timber/nlt>>, erişim tarihi 10.05.2021.
- Url-28** <<https://www.structurefusion.com/en/products/nail-laminated-timber/>>, erişim tarihi 11.05.2021.
- Url-29** <<https://www.archdaily.com/802831/t3-michael-green-architecture>>, erişim tarihi 14.05.2021
- Url-30** <<https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber/>>, erişim tarihi 14.05.2021
- Url-31** <<https://deltamillworks.com/project/11-east-grand/>>, erişim tarihi 15.05.2021
- Url-32** <<https://www.archdaily.com/929832/111-east-grand-and-st-kilda-surf-and-turf-neumann-monson-architects>>, erişim tarihi 17.05.2021
- Url-33** <<https://structurecraft.com/projects/east-grand-office>>, erişim tarihi 17.05.2021
- Url-34** <<https://www.archpaper.com/2021/04/111-east-grand-brings-innovations-in-mass-timber-to-des-moines/>>, erişim tarihi 18.05.2021
- Url-35** <<https://www.klh.at/en/references/forte-tower-melbourne/>>, erişim tarihi 21.05.2021
- Url-36** <<https://builtoffsite.com.au/emag/issue-04/forte-living-australias-first-multi-residential-clt-building/>>, erişim tarihi 21.05.2021
- Url-37** <<https://www.architectureanddesign.com.au/projects/multi-residential/forte-by-lend-lease#>>, erişim tarihi 22.05.2021
- Url-38**
<http://www.timberqueensland.com.au/Docs/News%20and%20Events/Events/Andre_w-Nieland_web.pdf>, erişim tarihi 23.05.2021
- Url-39** <https://wood-works.ca/wp-content/uploads/Edmonton_wood-fair_marina.pdf>, erişim tarihi 26.05.2021

- Url-40 <<https://urbannext.net/treet/>>, erişim tarihi 26.05.2021
- Url-41 <<https://www.nordic.ca/en/projects/structures/origine>>, erişim tarihi 27.05.2021
- Url-42 <<https://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>>, erişim tarihi 28.05.2021.
- Url-43 <<https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/apartman-blogu/lighthouse-joensuu/?lang=tr>>, erişim tarihi 28.05.2021
- Url-44 <<https://www.archdaily.com/934374/mjostarnet-the-tower-of-lake-mjosa-voll-arkitekter>>, erişim tarihi 28.05.2021
- Url-45 <http://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/>, erişim tarihi 28.05.2021
- Url-46 <<https://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-47 <<https://archello.com/story/33893/attachments/photos-videos>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-48 <<https://www.actonstry.ca/project/brock-commons-tallwood-house/>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-49 <<https://www.hkarchitekten.at/en/project/student-residence-at-brock-commons/#lightbox-59>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-50 <<https://archello.com/project/brock-commons-tallwood-house>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-51 <<http://www.mimarlikdergisi.com/>>, erişim tarihi 29.05.2021
- Url-52 <<http://www.gncahsap.com/>>, erişim tarihi 30.05.2021
- Url-53 <<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?DergiSayi=407&RecID=4109&sayfa=mimarlik>>, erişim tarihi 30.05.2021
- Url-54 <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/836053>>, erişim tarihi 30.05.2021
- Url-55 <<http://www.gncahsap.com/ahsap-yapi-uretimi-III/>>, erişim tarihi 31.05.2021
- Url-56 <<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?DergiSayi=368&RecID=2440&sayfa=mimarlik>>, erişim tarihi 31.05.2021
- Url-57 <<http://www.mobdek.8m.net/ahsabintanitimasi.htm>>, erişim tarihi 31.05.2021

- Url-58** < <http://docplayer.biz.tr/6732822-Gebze-yuksek-teknoloji-enstitusu.html>>, erişim tarihi 1.06.2021
- Url-59** <<https://cwc.ca/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/>>, erişim tarihi 1.06.2021
- Url60**<<http://mimarlikdergisi.com/index.cfm?DergiSayi=407&RecID=4109&sayfa=mimarlik>>, erişim tarihi 1.06.2021
- Url-61** <<http://www.mobdek.8m.net/ahsabintanitilmasi.htm> >, erişim tarihi 1.06.2021
- Url-62** <<http://www.mobdek.8m.net/ahsabintanitilmasi.htm>>, erişim tarihi 1.06.2021
- Url-63** <<https://tr.wikipedia.org/wiki?curid=54255>>, erişim tarihi 2.06.2021
- Url-64**<<https://web.itu.edu.tr/yamanhak/ders/yus/YS-ozet-hf3.pdf>>, erişim tarihi 2.06.2021
- Url-65** <<https://duyguilkhan.wordpress.com/ders-plani/>>, erişim tarihi 2.06.2021
- Url-66** <<https://www.akademikbilgisistemi.com/akademisyen/yardoc-dr-suat-cakir/>>, erişim tarihi 2.06.2021
- Url-67** <<https://cwc.ca/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/>>, erişim tarihi 2.06.2021
- Url-68** <https://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/ahsap.htm>, erişim tarihi 3.06.2021
- Url-69** <<http://blog.wilvaco.com/engineered-wood-product-101-what-is-structural-composite-lumber-scl/>>, erişim tarihi 3.06.2021
- Url-70**<<https://www.naturallywood.com/products/parallel-strand-lumber/>>, erişim tarihi 3.06.2021
- Url-71** <<https://docplayer.biz.tr/6732822-Gebze-yuksek-teknoloji-enstitusu.html>>, erişim tarihi 3.06.2021
- Url-72** <<https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber/>>, erişim tarihi 4.06.2021
- Url-73** <<https://continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/think-wood/designing-sustainable-prefabricated-wood-buildings/3/>>, erişim tarihi 4.06.2021
- Url-74** <https://www.architectmagazine.com/design/heres-how-prefab-needs-to-be-fixed-before-it-can-save-housing_c>, erişim tarihi 4.06.2021

- Url-75** <<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/725058>>, erişim tarihi 4.06.2021
- Url-76** <<https://saxidesign.wixsite.com/mofurniture/ahsap-1>>, erişim tarihi 5.06.2021
- Url-77** <<http://www.mimarlikdergisi.com/>>, erişim tarihi 5.06.2021
- Url-78** <<https://www.apawood.org/stock-glulam-resources>>, erişim tarihi 5.06.2021
- Url-79** <<https://www.apawood.org/stock-glulam-resources>>, erişim tarihi 5.06.2021
- Url-80** <<https://www.thinkwood.com/wood-performance-and-design> >, erişim tarihi 7.06.2021
- Url-81** <<https://www.apawood.org/structural-composite-lumber> >, erişim tarihi 7.06.2021
- Url-82** <<https://www.thinkwood.com/mass-timber/nlt> >, erişim tarihi 8.06.2021
- Url-83** <<https://www.structurefusion.com/en/products/nail-laminated-timber/>>