

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AHŞAP KOMPOZİT ELEMANLARLA OLUŞTURULMUŞ
GENİŞ AÇIKLIKLI SİSTEMLERİN İNCELENMESİ**

DİDEM GÜNEŞ YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. Z. CANAN GİRGİN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AHŞAP KOMPOZİT ELEMANLARLA OLUŞTURULMUŞ GENİŞ AÇIKLIKLI
SİSTEMLERİN İNCELENMESİ

Didem Güneş YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 07.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Z. Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Z. Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez, üretim teknolojisi ve kullanımı özellikle Amerika ve Avrupa’da yaygınlaşmış olan ahşap kompozitleri ve bunlarla üretilen geniş açıklıklı yapı sistemlerini tanıtarak, Türkiye’de ahşap kompozitlerin eğitim ve uygulama alanında yaygınlaşması amacıyla hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın oluşumunda, konu seçiminde yardımcı olan, araştırma yöntemi ve edinilen bilgiyi sunma konularında yol gösteren, çalışma sırasında sabrını ve her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Zehra Canan GİRĞİN’e teşekkürlerimi sunarım. Tezimin sayısal analiz kısmındaki katkıları için YTÜ İnşaat Müh. Yüksek Lisans öğrencisi Erkin Duran’a teşekkür ederim.

Ayrıca, bu günlere gelmemi sağlayan ve eğitim hayatım boyunca beni hep destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Nisan, 2011

Didem Güneş YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Bulgular	3
BÖLÜM 2	
AĞACIN YAPISI VE MODERN AHŞAP ENDÜSTRİSİNDE TERCİH EDİLEN AĞAÇ TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1 Genel	4
2.2 Ağacın İç Yapısı	4
2.2.1 Ağacın Büyüme Evreleri	6
2.2.2 Ağacın İç Yapısındaki Kusurlar	7
2.2.3 Ağacın Öz Sıvıları.....	8
2.3 Ağacın Sınıflandırılması.....	8
2.3.1 İğne Yapraklı Ağaçlar	9
2.3.2 Geniş Yapraklı Ağaçlar	9
2.4 Ahşabın Kimyasal Özellikleri.....	10
2.5 Ahşabın Fiziksel Özellikleri	10
2.5.1 Ahşabın Nem Oranı	10
2.5.2 Ahşabın Yoğunluğu	11
2.5.3 Ahşabın Özgül Ağırlığı	12

2.5.4	Ahşabın Boşluk Oranı	13
2.5.5	Ahşabın Genleşmesi-Büzülmesi	13
2.5.6	Ahşabın Isı – Ses- Elektrik İletkenliği	14
2.5.7	Ahşabın Rengi ve Kokusu	15
2.6	Ahşabın Mekanik Özellikleri.....	15

BÖLÜM 3

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLERİN ÜRETİM ESASLARI.....	19
3.1 Kütüklerin Hazırlanması, Tomruklama, Tomrukların Kesilmesi.....	20
3.2 Tutkal Uygulaması, Kalıplama ve Presleme İşlemleri.....	21
3.2.1 Tutkal	21
3.2.1.1 Yapışma	21
3.2.1.2 Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler.....	22
3.2.1.3 Sınıflandırma.....	23
3.2.1.4 Tutkal Uygulaması	28
3.2.3 Kalıplama-Presleme	29
3.3 Emprenye ve Kür Alma İşlemleri	30
3.3.1 Emprenye.....	31
3.3.1.1 Emprenye Maddeleri ve Sınıflandırılmaları	31
3.3.1.2 Emprenye Uygulaması	35
3.4 Ön-montaj İşlemleri, Nakliye ve Kurulum.....	37

BÖLÜM 4

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLER.....	38
4.1 Tarihçe.....	38
4.2 Tabakalı Tutkallı Ahşap (Glulam)	46
4.2.1 Genel	46
4.2.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları	46
4.2.2.1 Parmak-geçme birleşimi	48
4.2.2.2 Tabakaların Düzenlenmesi	50
4.2.3 Mekanik Büyüklükleri.....	52
4.3 Lamine Kaplama Kereste (LVL)	54
4.3.1 Genel	54
4.3.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları	54
4.3.3 Mekanik Büyüklükleri.....	58
4.4 Paralel Şerit Kereste (PSL).....	59
4.4.1 Genel	59
4.4.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları	59
4.4.3 Mekanik Büyüklükleri.....	61
4.5 Lamine Şerit Kereste (LSL).....	61
4.5.1 Genel	61
4.5.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları	61
4.5.3 Mekanik Büyüklükleri.....	62

BÖLÜM 5

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLER İLE OLUŞTURULAN GENİŞ AÇIKLIKLI YAPI SİSTEMLERİ.....	63
5.1 Kirişler.....	63
5.1.1 Kiriş Tipleri	64
5.1.2 Birleşim Detayları.....	66
5.1.3 Yapı Örnekleri	69
5.2 Kemerler	74
5.2.1 Kemer Tipleri.....	74
5.2.2 Birleşim Detayları.....	77
5.2.3 Yapı Örnekleri	79
5.3 Makaslar	84
5.3.1 Makas Tipleri.....	84
5.3.2 Birleşim Detayları.....	88
5.3.3 Yapı Örnekleri	91
5.4 Kubbeler	96
5.4.1 Kubbe Tipleri.....	96
5.4.2 Birleşim Detayları.....	100
5.4.3 Yapı Örnekleri	100
5.5 Izgara Kabuk Sistemler	105
5.5.1 Izgara Kabuk Tipleri	105
5.5.2 Yapı Örnekleri	111
5.6 Katlanmış Plaklar	120
5.6.1 Genel	120
5.6.2 Yapı Örnekleri	124
5.7 Dokuma Ahşap Yapılar	127
5.7.1 Genel	127
5.7.2 Yapı Örnekleri	129

BÖLÜM 6

GENİŞ AÇIKLIKLI AHŞAP KOMPOZİT KEMERLERİN KARŞILAŞTIRMALI STATİK ANALİZİ	131
6.1 Kabuller	131
6.2 Analiz Sonuçları.....	132

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
KAYNAKLAR	140
EK A	
GLULAM ELEMANLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ.....	148
ÖZGEÇMİŞ.....	152

SİMGE LİSTESİ

$f_{//t}$	Liflere paralel çekme dayanımı
$f_{//c}$	Liflere paralel basınç dayanımı
$f_{\perp t}$	Liflere dik çekme dayanımı
$f_{\perp c}$	Liflere dik basınç dayanımı
f_b	Eğilme dayanımı
$f_{\perp v}$	Liflere dik kayma dayanımı
G	Kayma modülü
ρ_k	Yoğunluk
l	Parmak-geçme boyu
p	Diş genişliği
t	Diş ucu genişliği
k_{lam}	Laminasyon etkisi
k_h	Boyut etkisi

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CNC	Computer Numerical Control
FRP	Fiber-reinforced polymers
SCL	Yapısal Kompozit Ahşap
LSL	Laminated Strand Lumber
LVL	Laminated Veneer Lumber
MOE	Modulus of Elasticity
MOR	Modulus of Rupture
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OSB	Oriented Strand Board
PSL	Parallel Strand Lumber
RH	Relative Humidity
OD	Fırın kurusu ağırlık
SG	Özgül ağırlık
FF	Fenol-formaldehit
RF	Resorsin-formaldehit
PRF	Fenol-resorsin-formaldehit
MF	Melamin-formaldehit
MUF	Melamin-üre-formaldehit
UF	Üre-formaldehit
PUR	Poliüretan
EPI	Emülsüyon polimer izosiyanit
PVA	Polivinil asetat
EP	Epoksi
K _g	Gauss Eğriliği

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Ağacın gövde kesiti ve bölümleri	5
Şekil 2.2 Yıllık halkalarda bahar ve yaz odunu.....	6
Şekil 2.3 k/h oranına bağlı dayanım değişiminin yüzdesel değerleri	7
Şekil 2.4 Ahşaptaki diğer kusurlar.....	8
Şekil 2.5 Sert odun ve Yumuşak odunun içyapısı.....	9
Şekil 2.6 Bağıl neme göre ahşabın nem oranının yüzdesel değişimi	11
Şekil 2.7 Ortamdaki nem oranı-özümlü ağırlık değişimleri	12
Şekil 2.8 Köknar ve çamın yoğunluk/boşluk oranı ilişkisi	13
Şekil 2.9 Ahşapta yüzeysel büzülmenin farklı durumları	14
Şekil 2.10 Douglas köknarının kesim sonrası rengi	15
Şekil 2.11 Makineli görsel dereceleme uygulaması	16
Şekil 2.12 Makine ve görsel dereceleme örnek etiketlemeleri.....	16
Şekil 2.13 MSR makinesi ve makineli dereceleme yöntemi.....	17
Şekil 2.14 Nem artışına bağlı olarak, ahşapta dayanım azalması.....	18
Şekil 3.1 Kompozit ahşap üretim fabrikası	19
Şekil 3.2 Elle kabuk soyma	20
Şekil 3.3 Tomruk halinde kütükler	20
Şekil 3.4 Farklı şekillerde kesimler	20
Şekil 3.5 Tutkal tabakasının ahşap yüzeye nüfuzunun mikroskopik görüntüsü	22
Şekil 3.6 Kompozit eleman üretim aşamalarından görüntüler	29
Şekil 3.7 A:uç-uca – B:pahlı – C:düşey parmak-geçme – D: yatay parmak-geçme	29
Şekil 3.8 Kesme-delme işlemi yapılan elemanlar ayrı ayrı depolanır	30
Şekil 3.9 Basınçlı emprenye uygulamasına hazırlanmış keresteler.....	36
Şekil 3.10 Daldırma ile emprenye uygulanması	36
Şekil 3.11 Vakum-basınç yönteminin şematik gösterimi ve aşamaları	36
Şekil 3.12 Paketleme işleminin yapılması ve paketlenmiş ürünler	37
Şekil 3.13 Düz kompozit ahşap elemanların karayolu ile taşınması	37
Şekil 3.14 Zemin plaka bağlantıları ile elemanların birleşimleri	37
Şekil 4.1 Tabakalı ahşap teknolojisinin tarih içindeki aşamaları	38
Şekil 4.2 Hala kullanılan tabakalı ahşap kemer, 1916, Copenhagen.....	39
Şekil 4.3 Hanisch tarafından ABD’de üretilen ilk tabakalı ahşap kirişler.....	39
Şekil 4.4 Wisconsin, 1934, Peshtigo Lisesi Gymnasium salonu.....	39
Şekil 4.5 Wisconsin, 1936, kapalı spor salonu.....	39
Şekil 4.6 Tabakalı ahşap teknolojisinin gelişmesinde çok önemli olan parmak-geçme sisteminin tarihsel gelişimi	40
Şekil 4.7 Tabakaların lif düzenlerine göre fiziksel değişimleri: (a) değişim çok fazla, (b) değişim fazla ve (c) değişim sınır değerlerde (normal)	46

Şekil 4.8	Glulam elemanların üretim akış şeması	47
Şekil 4.9	Birleşimin düşey veya yatay doğrultuda uygulanması.....	48
Şekil 4.10	Parmak-geçme mesafeleri.....	48
Şekil 4.11	20 ⁰ C da, birleşimin uzunluğuna bağlı olarak uygulanması gereken basınç miktarı	50
Şekil 4.12	Yıllık halkaların dayanım şekli.....	50
Şekil 4.13	Tabakaların liflerine göre; (a) Olumsuz, (b) Olumlu sıralanmaları.....	50
Şekil 4.14	Homojen tabakalı ve Simetrik kombine tabakalı glulam elemanlar.....	51
Şekil 4.15	Düşey tabakalama	51
Şekil 4.16	Glulam elemanlarda, tabakalamanın etkisiyle dayanım, masif ahşaba göre daha fazladır.....	53
Şekil 4.17	Düşey ve yatay tabakalı glulam elemanların, eğilme dayanım değerleri.....	53
Şekil 4.18	LVL elemanın en kesit görünümü	54
Şekil 4.19	LVL elemanın iç kısmındaki kaplamalar, genelde bindirme yöntemi ile birleştirilir	54
Şekil 4.20	LVL ile kontrplaklar arasındaki tabakalama farkı.....	55
Şekil 4.21	LVL elemanların üretim akışı.....	55
Şekil 4.22	Q tipi panelin uygulanması.....	56
Şekil 4.23	A.B.D’de yaygın kullanılan LSL elemanlar	57
Şekil 4.24	LVL elemanlardan kurulmuş bir çerçeve sistem	57
Şekil 4.25	Metropol Parasol yapısının kurulum aşamasından bir görünüm	57
Şekil 4.26	LVL kiriş elemanların, 4 m aks aralığı ile yerleştirilmeleri durumunda enkesit boyutlarına göre açıklık değerleri	58
Şekil 4.27	PSL elemanın kesit görünümü	59
Şekil 4.28	PSL şeritlerinin kesilmesi ve şekillendirilip preslenmesi.....	59
Şekil 4.29	PSL elemanların üretim akışı.....	60
Şekil 4.30	Yapıda PSL elemanlarla kurulan cephe sistemi ve detayları	60
Şekil 4.31	LSL kesiti	61
Şekil 4.32	LSL elemanların üretim şeması	62
Şekil 5.1	Düz kiriş mesafeleri	64
Şekil 5.2	Trapez kiriş mesafeleri	64
Şekil 5.3	Eğri kiriş mesafeleri	64
Şekil 5.4	Konsol kiriş mesafeleri.....	65
Şekil 5.5	Izgara kiriş tipleri	65
Şekil 5.6	Çerçeve sistem tipleri	66
Şekil 5.7	Farklı kemer tipleri.....	74
Şekil 5.8	İki ve üç mafsallı kemer	74
Şekil 5.9	İki ve üç mafsallı dolu gövdeli kemer örnekleri	75
Şekil 5.10	Dairesel kemerlerde uygun değerler	75
Şekil 5.11	BC2 modelinin örnek alındığı Hamar Olympiahall, Norveç.....	77
Şekil 5.12	Dairesel ve tudor kemerlerde yapılan çaprazlamalar	77
Şekil 5.13	Örnek çatı makası ve örgü çubukları arası α değeri.....	84
Şekil 5.14	Makaslarda yapılabilecek çaprazlamalar.....	88
Şekil 5.15	Bir çatı makasının destek elemanı yardımıyla taşınması	91
Şekil 5.16	Kubbenin pozitif eğriliği	96
Şekil 5.17	Sırayla; dik projeksiyon, merkezi projeksiyon ve kutupsal projeksiyon yöntemleri.....	97
Şekil 5.18	Radyal kubbe tipleri	98
Şekil 5.19	Radyal kubbelerde merkezde eleman sayısını azaltma	98

Şekil 5.20	Çeşitli kubbe geometrileri	99
Şekil 5.21	$K_g < 0$ ve $K_g > 0$ eğrilik örnekleri ve yüzeylerin eğriliklerinin değiştirilmesi .	105
Şekil 5.22	Bilgisayar ortamında ızgaralarla oluşturulan bir mesh modeli.....	107
Şekil 5.23	2,5 birim aralıklı ızgaralarla oluşturulan bir modelin tel-maketi.....	107
Şekil 5.24	Polydome, İsviçre, 1991	108
Şekil 5.25	Bir çift tabakalı çift eğrilikli sistemin bilgisayar ortamında oluşturulması....	109
Şekil 5.26	Çalışmada kullanılan programda oluşturulan bir çift eğrilikli sistem.....	110
Şekil 5.27	Oluşturulan prototip ve nokta detayı.....	110
Şekil 5.28	Katlanmış kağıdın taşıyıcılık özelliğini anlatan bir çizim.....	120
Şekil 5.29	Çerçeve oluşturan katlanmış plaklara örnekler.....	121
Şekil 5.30	Katlanmış plak modelinin, yatay ve düşey yükler altında, dış kenarlarının zorlanmasını gösteren bir bilgisayar analizinin görüntüsü.....	122
Şekil 5.31	Oluşturulan modellerin farklı değerleri.....	122
Şekil 5.32	Paralel ve tersine katlama yöntemleri	123
Şekil 5.33	Karmaşık katlama modelleri.....	123
Şekil 5.34	Katlanmış plaklarla prototip oluşturma çalışması	124
Şekil 5.35	Sırasıyla; keçeli kumaş, ağ kumaş, dokuma kumaş	127
Şekil 5.36	Dokuma ahşap modeli.....	127
Şekil 5.37	2007-2008 döneminde yine bir öğrenci tarafından yapılan, farklı eğriselliklerin denendiği maket çalışmaları.....	128
Şekil 5.38	Weinand Mimarlık Stüdyosu, yapı ölçeğinde denemeler	128
Şekil 5.39	Gerçek ölçekte model yapımı ve test çalışmaları	128
Şekil 6.1	Basit mesnetli ve üç mafsallı kemer sistemlerin boyutları ve enkesitler	133
Şekil Ek A.1	Gauss dağılımına göre şematik dayanım değişimi	150

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Sert ve yumuşak odun sınıfındaki ağaçlar	10
Çizelge 2.2 Yumuşak ve sert odun türlerinin dayanım ve yoğunluk değerleri	17
Çizelge 3.1 Yapıda kullanım yerlerine göre tutkalların sınıflandırılması	24
Çizelge 3.2 Organik esaslı tutkalların sınıflandırılması	24
Çizelge 3.3 Kimyasal oluşumlarına göre inorganik tutkalların sınıflandırılması	27
Çizelge 3.4 Basınçlı emprenye yöntemlerinde kreozot maddesi tüketim karşılaştırması	31
Çizelge 3.5 Mantarların oluşumu, ardaklanma, böceklerin zararları ve önlem maddeleri	34
Çizelge 4.1 Tabakalı ahşap eleman kesitlerindeki gelişimler	41
Çizelge 4.2 Parmak-geçme yönteminde etkili değerler ve mekanik verimleri	49
Çizelge 4.3 En sık kullanılan glulam elemanların mekanik dayanım değerleri	52
Çizelge 4.4 İki farklı LVL üreticisinin verdiği dayanım değerleri	58
Çizelge 4.5 PSL elemanların mekanik dayanımları (MPa)	61
Çizelge 4.6 LSL eleman dayanımları (MPa)	62
Çizelge 5.1 Kiriş sistemlerde birleşim detayları	66
Çizelge 5.2 Armstrong Spallumcheen Arena, İngiliz Kolombiyası	70
Çizelge 5.3 Kingmead Primary School, Northwich, İngiltere	71
Çizelge 5.4 West Vancouver Aquatic Center, Vancouver, Kanada	72
Çizelge 5.5 Özel Irmak Lisesi, Kapalı Spor Salonu, İstanbul, Türkiye	73
Çizelge 5.6 Asimetrik yükler altında farklı mesnetlenmiş kemerlerin deformasyonu ...	76
Çizelge 5.7 Kemerlerde uygulanan birleşimler	78
Çizelge 5.8 Sheffield Winter Garden, Güney Yorkshire, İngiltere	80
Çizelge 5.9 Brentwood Skytrain Station, Vancouver, Kanada	81
Çizelge 5.10 Sunderland Aquatic Centre, Tyne and Wear, İngiltere	82
Çizelge 5.11 Padre Pio Pilgrimage Church, S. Giovanni Rotondo, İtalya	83
Çizelge 5.12 Makasların sınıflandırılması ve makas tipleri	85
Çizelge 5.13 Makaslarda uygulanan birleşim detayları	89
Çizelge 5.14 Aqua Arena di Bressanone, İtalya	92
Çizelge 5.15 Wisconsin Visitor Information Center	93
Çizelge 5.16 Palasport di Cefalu, İtalya	94
Çizelge 5.17 Chiesa San Giovanna Di Caltanissetta, İtalya	95
Çizelge 5.18 Kubbelerde birleşim detayları	100
Çizelge 5.19 Tacoma Dome, Washington, ABD	101
Çizelge 5.20 Superior Dome, ABD	102
Çizelge 5.21 Olympic Exhibition Centre- Sydney, Avustralya	103
Çizelge 5.22 Las Arenas, Barselona, İspanya	104

Çizelge 5.23	Serpentine Galeri Pavyonu, Londra, İngiltere.....	112
Çizelge 5.24	Great Burgh House, Epsom, İngiltere.....	113
Çizelge 5.25	Napier University, Edinburgh, İngiltere	114
Çizelge 5.26	Bad Sulza Thermal Baths, Dürreim, Almanya.....	115
Çizelge 5.27	Mannheim Bundesgartenschau Multihalle, Mannheim, Almanya	116
Çizelge 5.28	Weald and Downland Gridshell, Kent, İngiltere.....	117
Çizelge 5.29	Savill Garden, Surrey, İngiltere.....	118
Çizelge 5.30	Wallon Forestry Centre, Ardennes, Belçika	119
Çizelge 5.31	Şapel, Lozan, İsviçre.....	125
Çizelge 5.32	Müzik Evi, Thannhausen, Almanya	126
Çizelge 5.33	Pompidou Centre, Metz, Fransa	130
Çizelge 6.1	Tabakalı kompozitler ve çeliğin mekanik büyüklükleri	132
Çizelge 6.2	Çelikten üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.	134
Çizelge 6.3	Glulamdan üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.	135
Çizelge 6.4	LVL'den üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.	136
Çizelge 6.5	İki ve üç mafsallı kemer sistemlerinde sehim (f_{max}) değerleri.	137
Çizelge Ek A.1	Glulam elemanlarda FRP uygulama yöntemleri.....	151

AHŞAP KOMPOZİT ELEMANLARLA OLUŞTURULMUŞ GENİŞ AÇIKLIKLI YAPI SİSTEMLERİN İNCELENMESİ

Didem Güneş YILMAZ

Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra Canan GİRGIN

Doğal bir yapı malzemesi olan ahşap, yüzyıllardır insanların barınma ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır. 16.yy.' a kadar basit uygulamalarda masif olarak kullanılan ahşap, 19.yy. sonunda ileri bir seviyeye götürülmüş; uç uca eklemeli, tutkallanmış tabakalardan oluşan kompozit ahşap elemanlar (glulam) geliştirilmiştir. Ahşap eleman üretim teknolojilerinin gelişmesiyle, özellikle 1970'lerden sonra, daha farklı niteliklerde tutkallı ahşap elemanlar üretilmeye başlamıştır. Günümüze dek gelişmeye devam eden kompozit ahşap ürünler, yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanıldıklarından, yapısal ahşap kompozitler olarak sınıflandırılır.

Üretilen ahşap kompozitlerin, masif ahşaba göre daha yüksek dayanımlı ve daha dayanıklı olması nedeni ile, eski ahşap yapıların taşıyıcı sistemlerinden daha farklı biçimde daha geniş açıklıklı sistemler oluşturulabilmektedir. Öyle ki, geçmişte konut yapımında kullanılan ahşap, günümüzde; havaalanı terminali, stadyum, kapalı spor kompleksleri gibi büyük ölçekli yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında, Türkiye'de yaygın kullanım imkanı bulamayan yapısal ahşap kompozitler hakkında detaylı bilgi verilmiş ve bu elemanlarla oluşturulan geniş açıklık yapı sistemlerinin nitelikleri ortaya konmuştur.

Tezin birinci bölümünde, bu konunun seçim nedenleri ve önemi üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, hammadde olan ağacın yapısı; fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, ahşap kompozitlerin üretilmesine imkân sağlayan tutkallar ve koruyucu emprenye yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, yapısal ahşap kompozitler, glulam, LVL, PSL ve LSL sırasıyla detaylı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise, bu elemanlarla oluşturulan geniş açıklık taşıyıcı sistemler yedi başlıkta ele alınmış ve dünyadaki önemli örnekleri sıralanmıştır.

Son olarak, tezin altıncı bölümünde, sonuç ve gelecek araştırmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapısal ahşap kompozitler, glulam, LVL, PSL, LSL, geniş açıklıklı sistemler.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WIDE SPAN STRUCTURAL SYSTEMS COMPOSED OF WOODEN COMPOSITES

Didem Güneş YILMAZ

Department of Architecture

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Zehra Canan GİRGIN

As a natural building material, timber has been used for centuries to provide humankind's shelter requirement. Until 16th century, timber was massively used in simple structures; but at the end of 19th century, timber technology was upgraded to a next level. Primarily, end-to-end jointed and glued timber laminations, called as 'glulam', were developed. However, as manufacturing technologies has been sophisticated, especially after 1970's, different compositions of glued timber elements have been produced under the classification of 'structural wood composites'.

In the past, while wood was preferred for only housing construction, today, it can be used as structural elements even for large scale contemporary projects. More complex and wide span structural systems; such as airport terminals, stadiums or indoor sport centres, by using timber composites having higher strength and durability characteristics in comparison with old solid wood structures are constructed nowadays.

Within the scope of this thesis, detailed information is given about structural wood composites not widely used in Turkey and the characteristics of contemporary wide span wood composite structural systems in the world are presented.

The scope of this thesis and the importance of the subject are introduced in the first chapter.

Information about physical, chemical and mechanical characteristics of wood is presented in the second chapter.

The third chapter discusses the types of glue and methods of impregnation.

In the fourth chapter, structural wood composites (glulam, LVL, PSL and LSL) are investigated in detail.

In the fifth chapter, wide span structural systems built with these composites are classified into seven sections and some important contemporary structures are tabulated.

In the conclusion chapter, results of this thesis are discussed and suggestions are proposed for future researches.

Key words: Structural wood composites, glulam, LVL, PSL, LSL, wide span structural systems.

1.1 Literatür Özeti

Yapısal ahşap kompozitler, kısaca, ahşap kütüklerinin farklı yöntemlerle kesilerek, tabakalar, kaplamalar, uzun veya kısa şeritler haline getirilip, uygun tutkallar kullanılarak, belirli bir basınç altında şekillendirilmesi ile üretilen taşıyıcı elemanlardır. Bu elemanların üretim teknikleri, ABD ve Avrupa’da yaklaşık 100 yıldır bilinmekte ve gelişen teknoloji sayesinde farklı ahşap kompozitler geliştirilmektedir. Konuyla ilgili başlıca yararlanılan kaynaklardan;

Porteus, J. ve Kermani, A. (2007) [1], yapısal ahşap kompozitlerin Avrupa’daki üretimi ve kullanımı ile ilgili olarak Eurocode 5’de verilen kuralları açıklamıştır.

Aghayere, A. ve Vigil, J. (2007) [32], yapısal ahşap kompozitlerin kurulumu ile ilgili hesaplamalara yer vermiştir.

Riberholt, H. (2007) [65], Avrupa’da yapısal ahşap kompozitlerle inşa edilmiş eski yapıların günümüzdeki performansını incelemiştir.

Thelandersson, S. ve Larsen, H. (2003) [68], yapısal ahşap kompozitlerin hem üretimini hem de oluşturulan taşıyıcı sistemlerini ele almıştır.

Ozelton, E. C. ve Baird, J. A. (2006) [72], Eurocode5’i esas alarak örnek yapısal ahşap kompozit eleman hesaplamalarına yer vermiştir.

Strand, R. (2007) [78], yapısal ahşap kompozitlerin evrimini açıklamış ve karşılaştırmıştır.

Toussaint, M. H. (2007) [140], çağdaş mimaride en çok tercih edilen ızgara kabuk sistemlerin oluşturulma tekniklerini ele almıştır.

Yapısal ahşap kompozit elemanlar kullanılarak geniş açıklık geçilen yapı sistemleri üretmek mümkündür. Bunun en iddialı örneği, A.B.D Michigan'da yer alan *Superior Dome*'dur. Bu yapı kadar büyük çaplı olmasa da geniş açıklıkların yapısal ahşap kompozit elemanlar ile geçildiği birçok yapı, A.B.D, Avrupa ve Japonya'da yaygın olarak inşa edilmektedir. Türkiye'de konu ile ilgili çalışma sayısı az olup, ilk olarak önceki tez çalışmaları araştırılmıştır.

Atmaca, A. (2005) [15], tabakalı tutkallı ahşap kiriş elemanların yapılarda kullanımını araştırmıştır.

Altunkaya, P. (2007) [34], tabakalı tutkallı elemanların taşıyıcı sistemde kullanımını incelemiştir.

Kalay, E. (2006) [63], tabakalı tutkallı ahşap ve çelik elemanlar ile oluşturulan taşıyıcı sistemleri sınıflandırarak karşılaştırmıştır.

Sağlam, B.A. (2009) [103], geniş açıklıklı yapı sistemlerinde prefabrike betonarme elemanların, çelik profillerin veya tabakalı tutkallı ahşabın kullanımlarını karşılaştırmıştır.

Ertaşan, E. (2005) [137], orta ve geniş açıklık geçen ahşap çatıların performanslarını araştırmış, ahşap ve çeliği malzeme olarak karşılaştırmıştır.

Güller, B. (2001) [94], yapısal ahşap kompozitler ile ilgili bir derleme yapmıştır.

Sizüçen, H. (2008) [100], belirli bir ağaç türünden üretilen yapısal ahşap kompozitlerin dayanımını deneysel olarak araştırmıştır.

Çavuş, V. (2008) [93], belirli bir ağaç türünden ve belirli tutkallardan üretilen bir yapısal ahşap kompozitin (PSL) dayanım değerlerini karşılaştırmıştır.

Dallı, G. (2005) [79], bir yapısal ahşap kompozit türünün (LVL), Türkiye'de üretim potansiyelini ve teknolojik özelliklerini araştırmıştır.

Kurt, R. ve Çavuş, V. ve Meriç, H. (2010) [96], yapısal ahşap kompozitleri, keresteye alternatif mühendislik ürünü ağaç malzemeler olarak tanımlamış ve bir derleme ortaya koymuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu teknoloji, Türkiye’de, çeşitli nedenlerle yurtdışındaki kadar yaygınlaşmamıştır. En önemli neden, dünyada geniş açıklıklı yapı teknolojisinde dayanım/yoğunluk oranı açısından çelik ile yarışan ahşabın, ülkemizde hala zayıf bir yapı malzemesi olarak görülmesidir. Bu konudaki atılımı engelleyen diğer nedenler şunlardır :

- Yapısal ahşap kompozit elemanlar hakkında bilgi eksikliği,
- Glulam dışındakilerin yaygın olarak bilinmemesi,
- Ahşap kompozitlerle oluşturulacak projeleri tasarlamada bilgi eksikliği,
- Proje tasarımlarında boyut ve birleşim detaylarındaki bilgi eksikliği,
- Güncel proje ve araştırmaların takip edilmemesi,
- Üniversitelerde bu konuda yeterince eğitim verilmemesi

Bunların sonucunda, talep azlığından dolayı Türkiye’de ahşap endüstrisi gelişmemektedir. Üretici firmalar ise genellikle hammaddeyi yurtdışından getirmekte ve gelen talep doğrultusunda işlemektedir. Ülkemizde yapısal ahşap kompozitlerden üretilmiş yapı stoğu oldukça azdır.

Özellikle ülkemizdeki mimarların bu konudaki bilgi eksikliğinin giderilmesi, bilgiye ulaşmasında kolaylık sağlanması, tasarımlarındaki taşıyıcı sistemi rahatça yapısal ahşap kompozit elemanları ile oluşturmaları ve sisteme bağlı olarak birleşim detaylarını belirleyebilmeleri amaçlanmıştır.

1.3 Bulgular

Bu çalışma, yapısal ahşap kompozitler hakkında genel bilgileri ve yapılan deneysel çalışmaları, bunlarla oluşturulan geniş açıklıklı sistemleri ve dünyadaki örnekler üzerinden sistem ve birleşim detaylarını kapsamaktadır. Öncelikle ahşap kompozitlerin tarihsel gelişimine değinilmiş ve sonra günümüzde üretilen yapısal ahşap kompozitler anlatılmıştır. Bu elemanlarla oluşturulan dünyadaki geniş açıklıklı sistem örnekleri araştırılmış, sınıflandırılmış ve sistemlere ait birleşim detayları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

AĞACIN YAPISI VE MODERN AHŞAP ENDÜSTRİSİNDE TERCİH EDİLEN AĞAÇ TÜRLERİ

2.1 Genel

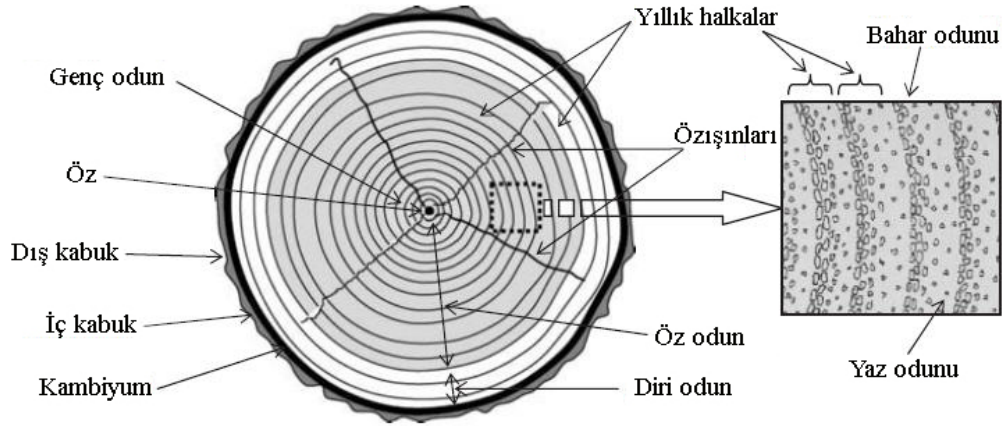
Ahşap, ağaçtan elde edilen doğal bir yapı malzemesidir. Beton, çelik ve taştan çok farklı bir içyapısı vardır. Doğadaki binlerce tür ağaç tipinin her biri farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler göstermektedir. Üretilecek olan ahşap elemanın niteliğine bağlı olarak seçilecek ağaç türü de farklı olacaktır. Tasarımcının, hangi ahşap ürünü için hangi ağacı kullanması gerektiğini bilmesi önemlidir.

2.2 Ağacın İç Yapısı

Ağaçların; kök, gövde ve dallardan oluşan bir taşıyıcı sistemi vardır. *Gövde*, yerçekimine ve rüzgâr etkisine karşı dayanır, köklerin emdiği suyu ve mineralleri ağacın en tepesine kadar ulaştırır. *Kök*, toprağın içinde derinlere doğru yayılarak, ağaç için gerekli suyu ve mineralleri emer. *Dallar*, ağacın büyümesi için gerekli şeker ve selüloz oluşturan kimyasal reaksiyonları gerçekleştiren yapraklara destek sağlar [1]. Ağaç gövdesinin enkesiti incelendiğinde (Şekil 2.1), farklı yapıda iki ana kısım görülür:

- Dış kısım *kabuk*, iç kısım *odun* olarak isimlendirilir. Odun kısmında, bir öz etrafında iç içe geçmiş halkalar mevcuttur. *Öz*, ağacın tam merkezinde ince koyu renkli bir bant gibidir [2]. Kabuğa yakın dış kısımlar açık, öze yakın iç kısımlar daha koyu renklidir ve özden çevreye doğru koyu veya açık, mat veya parlak renkte çizgilerin uzandığı görülür.

- Enkesitin açık renkli dış kısmına *diri odun*, koyu renkli iç kısmına *öz odun*, öz etrafında iç içe geçmiş halkalara *yıllık halkalar* (*büyüme halkaları*), özden çevreye doğru uzanan çizgilere *özişını* adı verilir. Gövdedeki *kambiyum* dokusu ise enine genişlemeyi sağlar.



Şekil 2.1 Ağacın gövde kesiti ve bölümleri [1].

Dış kabuk:

Ağacı; yangına, yağmura, darbelere ve böcek saldırılarına karşı korur [2]. Aşırı nem kaybetmesini önler.

İç kabuk:

Ağaçta büyüyen yerlere, en önemli besin maddesi olan şekeri ileten yapıdır. Kalın duvarlı hücreleri sayesinde otoburlara karşı dayanım sağlar [2], [3]. İç kabuktaki hücreler, dış kabuğa dönüştüklerinden kısa ömürlüdür [4].

Kambiyum:

İç kabuktan geçen ve *oksin* adı verilen hormonların başlattığı büyüme etkisiyle yeni kabuk ve hücreler oluşmasını sağlar [4].

Diri odun:

Su ve besleyici maddeleri düşeyde, kökten yapraklara ileten yeni hücrelerden oluşur [4]. Öz oduna göre açık renklidir ve ağaç türüne göre 25-170 mm genişliktedir [1].

Öz odun:

Bu tabakadaki hücreler, büyümesi tamamlanmış yaşlı hücrelerdir ve besin/su geçişinde rol almazlar [2], [5]. Ağaca rijitlik sağlar [1]. Ağaç yaşlandıkça öze yakın kısımdaki öz

odun, biriken ekstraktif maddelerdeki kimyasal farklılıklar, ince basınç çatlaklarının oluşması veya mantar saldırısına uğrama gibi nedenlerle kalitesini kaybetmektedir [6].

Genç odun:

Ağaç odununun –merkezden ilk 5-20 yaş halkası arasındaki kısım¹- ilk oluşmaya başladığı yer olup, buradaki hücreler oldukça yoğundur. Yaş ağaç kısmı, mekanik özellikler açısından zayıf ve yumuşak yapılıdır; dış oduna göre boyuna yönde daha fazla büzülme eğilimindedir [2].

Öz Işınlar:

Gövde enkesitinde, özden çevreye doğru uzanan çizgiler halinde görülür ve besinlerin bu yönde taşınmasını sağlar² [7]. Özışınlar, dayanımı azaltmasına ve kuruma sırasında çatlamayı kolaylaştırmasına karşın, radyal yönde büzülmeyi geciktirir³ [8].

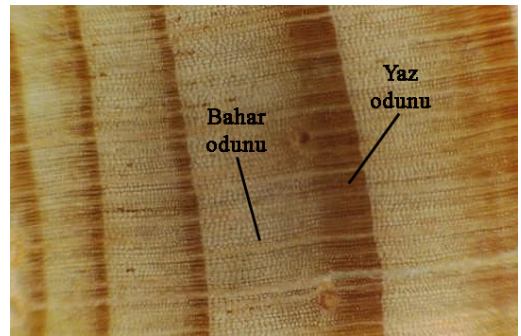
2.2.1 Ağacın büyüme evreleri

Yaş halkaları:

Yaş halkalardan ağacın geçmişini okumak mümkündür, çünkü bu halkalar sayılarak ağacın yaşı hesaplanabilir [1]. Kışın büyümenin durduğu iklim bölgelerindeki ağaçlarda belirgin halkalar oluşurken, daimi yeşil tropik bölgelerde sürekli büyüme söz konusu olduğu için belirgin halkalar oluşmaz [9]. Halka genişliği mm den daha küçük olabileceği gibi birkaç cm de olabilir (Şekil 2.2). Birçok yumuşak odun türünde, yaş halkalarının genişliği arttıkça yoğunluk azalır [10].

Bahar odunu:

Büyüme periyodunun başlangıcında; daha çok boşluklu ve ince duvarlı hücrelerden oluşan, gevşek yapılı ve açık renkli iç halka kısmıdır. Yoğunluğunun az olması nedeniyle, yumuşaktır ve dayanımı düşüktür [1], [5].



Şekil 2.2 Yıllık halkalarda bahar ve yaz odunu [11].

¹ Bazı çam türlerinde büyümenin ilk 10 yılında oluşan halkalardır.

² Ağaçtaki hücrelerin %5'lik kısmı özışınları oluşturur.

³ Usta ve Giray, çalışmalarında Korsika çamının genleşme ve büzülme oranlarını karşılaştırmış ve aradaki farkı özışınlara bağlamıştır.

Yaz odunu:

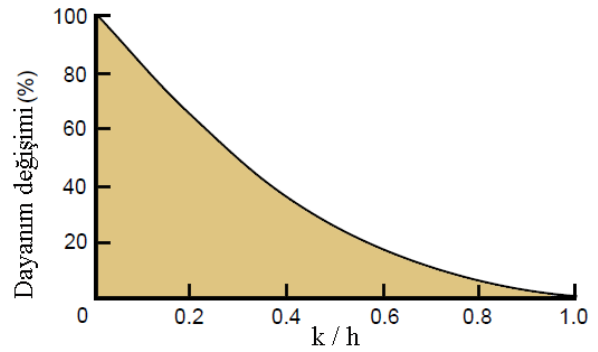
Büyüme periyodunun sonunda; daha az boşluklu ve kalın duvarlı hücrelerden oluşan, koyu renkli ve sık yapılı, dış halka kısmıdır. Yoğunluğu daha fazla olduğu için dayanımı yüksektir [1], [5].

2.2.2 Ağacın İç Yapısındaki Kusurlar

Budaklar:

Ağacın dokusundan farklı bir dokuya sahiptir. Yeni bir dalın büyümesini başlatır veya canlı bir dalın, ağacın gövdesindeki birleşimidir. Bu tip budaklar *canlı budak* olarak isimlendirilir. Ölmüş dalların veya çeşitli nedenlerle büyümemiş dalların, ağacın gövdesi içinde kalmış budakları ise *kapalı budak* veya *iç budak* olarak adlandırılır [12].

Normal oduna kıyasla yoğunluğu daha fazla olup, ahşap malzemenin kurutulması sırasında, farklı kuruma niteliğine sahip olduğu için bazen, ayrılıp düşer [13]. Ahşap elemanın kesit yüksekliğinde (h) budak oranı (k) arttıkça, elemanın dayanımı düşer (Şekil 2.3) [14].



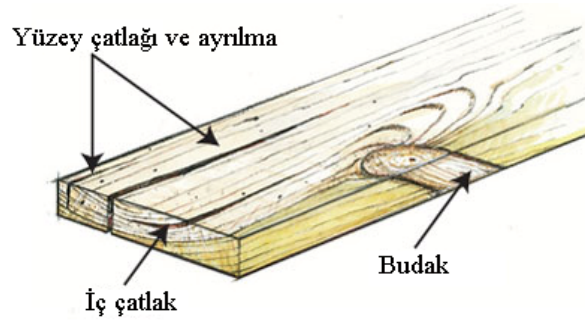
Şekil 2.3 k/h oranına bağlı dayanım değişiminin yüzdesel değerleri [11].

Lif Yapısı:

Ağacın gövdesinde yer alan tüm hücrelerin boyuna yönde sıralanışını ifade eder [1]. Lif yapısı bir ağacın dayanımı ve dayanıklılığını ortaya koyar. Çoğunlukla boyuna hizada düzgün olması gereken bu lifler, bazen ağacın büyüme evresindeki düzensizlikler nedeniyle orantılı olmayabilir. Liflerin düzgünlüğünü kaybetmesi, ahşabın eksenel yüklere karşı dayanımını, özellikle de eğilme dayanımını kaybetmesine neden olur.

Çatlaklar ve ayrılmalar:

Yıllık halkalar veya gövde boyunca devam eden derin iç çatlaklar oluşabilir. Ahşap elemanın kesilen yüzeyinde, açıkta kalan lifler dışarıya doğru ayrılabilir. Ahşabın su kaybetmesine bağlı olarak, yüzeyin herhangi bir yerinde çatlaklar oluşabilir (Şekil 2.4). Bu kusurlar, ağacın doğal veya suni kurutulması anında daha da artar ve ahşabın dayanımını önemli derecede düşürür [15].



Şekil 2.4 Ahşaptaki diğer kusurlar [16].

2.2.3 Ağacın öz sıvıları

Reçine Kanalları:

Yumuşak odunlarda, enine kesitte açık veya koyu renkli noktacıklar şeklinde görülür. Büyüme halkalarının yaz odunu kısmında veya yakınında yer alır. Yumuşak odunların geniş bir grubunda dar reçine kanalları bulunmaktadır [7]. Reçine kanallarındaki sıvı, ağacın aldığı darbelere göre veya böcek, mantar gibi istila durumlarında artar [17].

Yabancı maddeler:

Öz odun kısmındaki hücrelerin duvarlarında büyüme reaksiyonlarının yan maddeleri olarak oluşur [2]. Yabancı maddelerin içerikleri, ağaç türüne göre değişir. Bazı yabancı maddeler, mantar ve bazı böcek türleri için zehirlidir. Böylece ağacı, zararlı dış organizmalardan korur [4].

2.3 Ağaçların sınıflandırılması

Ağaçlar, tohum durumlarına göre iki gruba ayrılır:

- Açık tohumlular (*gymnosperms*) – yumuşak odunlar: İğne yapraklı olup, yıl boyunca yapraklarını dökmezler.
- Kapalı tohumlular (*angiosperms*) – sert odunlar: Geniş yapraklı olup, kışın yapraklarını dökerler.

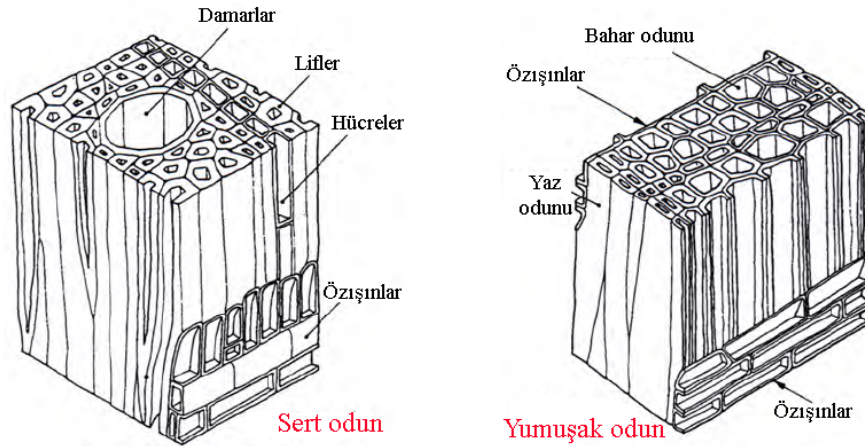
Burada tanımlanan sertlik ve yumuşaklık, ağacın yoğunluğu veya bilinen sertliği ile ilgili değildir. Aksine, düşük yoğunluğa sahip sert odunlar olduğu gibi, yüksek yoğunluklu yumuşak odunlar da vardır [1].

2.3.1 İğne Yapraklı Ağaçlar

İğne yapraklı ağaç odunları basit yapılıdır [2]. Ağacın boyu doğrultusunda uzanan boyuna traheidlerle, çap doğrultusunda uzanan özişinlar odunun asıl elemanlarıdır. Traheidler sivri uçlu ölü hücreler olup çeperleri ligninleşmiştir¹. İğne yapraklı ağaçlarda iletim ve destek görevi yapan hücreler boyuna traheidlerdir. Boyları uzun, çaplarının 100 katı kadar, enine kesitleri dört veya altı köşeli, uçları kapalı hücrelerdir [19]. Traheidlerin dokuya katılım oranı % 90-95 arasında olup [2], dokunun geri kalan % 5-10'u özişin paransimleri, boyuna paransimler ve reçine kanallarından oluşur [19]. Bu gruptaki ağaçların büyümeleri yaklaşık 30 yılda tamamlanır. Çabuk büyümelerinden dolayı hem temin edilmeleri kolaydır, hem de ekonomiktir [1].

2.3.2 Geniş yapraklı ağaçlar

Yapraklı ağaçların asıl elemanları traheler, özişinlar, lifler ve boyuna paransimler, yan elemanları ise yalancı özişinlar, öz lekeler ve tüllerdir². Traheler, ağaç boyu yönünde uzanan ve suda erimiş besin maddelerini yapraklara ileten elemanlardır. Traheler, uçları açık hücrelerdir [19]. Bu tür ağaçların içinde beslenmelerini sağlayan geniş damarlar bulunduğu için anatomik yapıları daha karmaşıktır (Şekil 2.5). Yumuşak odunlara göre daha yavaş büyürler. Bu nedenle yoğunlukları ve dayanımları daha fazla olur. Uzun zamanda büyümeleri nedeniyle ekonomik değillerdir [1].



Şekil 2.5 Sert odun ve Yumuşak odunun içyapısı [2].

¹ Odunlaşma olarak da bilinir. Ligninin, hücre çeperindeki selüloz mikrofibrilleri arasındaki boşluklara yerleşmesi sonucu gerçekleşir [18].

² Trahelere yakın paransim hücreleri içeriğinin trahe lümenlerine dolması ile meydana gelir [19].

Ahşap endüstrisinde en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan bazı ağaç türlerinin sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Sert ve yumuşak odun sınıfındaki ağaçlar [20], [21].

Sert odunlar	Kızılağaç, Titrek kavak, Ihlamur ağacı, Kayın, Huş ağacı, Kiraz ağacı, Karaağaç, Akçağaç, Meşe türleri, Çınar, Ceviz ağacı, Sarı kavak, Kestane, Kavak
Yumuşak odunlar	Sedir türleri, Köknar, Douglas köknarı, Hemlock ¹ (köknara benzer bir çam ağacı), Karaçam, Kızılçam, Sarıçam, Yerel Çam türleri, Ladin, Servi, Ardıç, Porsuk

2.4 Ahşabın kimyasal özellikleri

Kuru ahşabın temel bileşenleri, selüloz, hemi-selüloz, lignin ve ikincil maddelerdir.

- Selüloz: ağaç hücrelerinin duvarını oluşturur, bu nedenle ~%50’lik oranla en fazla bulunan maddedir [5].
- Hemi-selüloz: selüloz ile ilişkili olup, düşük-ağırlıklı yedi farklı şeker polimerinden oluşmaktadır [5] ve ağacın yapısında bulunma oranı % 20-35 düzeyindedir [4].
- Lignin: yapısında hücreleri birbirine bağlayan (harç görevi gören²), üç boyutlu fenilpropanol polimer³ mevcuttur. Yumuşak odunlarda %23-33, sert odunlarda ise %16-25 oranında bulunur [5].
- İkincil maddeler: reçine, sakız veya yağ gibi öz sıvılardır. Ağacın türüne göre bulunma oranı (%5-30) değişkendir [5].

2.5 Ahşabın fiziksel özellikleri

Ahşabın fiziksel özellikleri, içindeki nem oranı, yoğunluğu, özgül ağırlığı, boşluk oranı, genleşme-büzülmesi ve renk-koku başlıkları altında incelenecektir.

2.5.1 Ahşabın nem oranı

Ağacın hücrelerinde su, iki ayrı şekilde bulunur:

¹ En çok Batı ve Doğu türleri bilinir. Kanada ve ABD’de geniş bir yetişme alanına sahiptir [20].

² Günümüzde ahşapta tutkal olarak kullanımına yönelik çalışmalar yürütülmektedir [5].

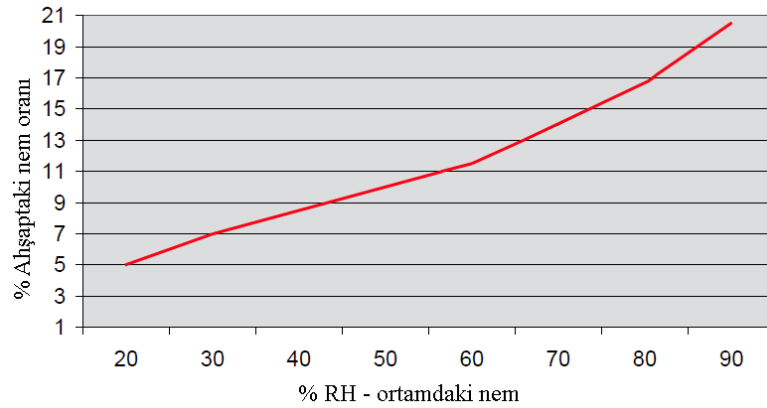
³ *three-dimensional phenylpropanol polyme* [5].

- *Yapısal su (Bünye suyu)*: Yapısında bulunan sudur. Selüloz hücreleri ile su molekülleri arasındaki çekimden dolayı depolanan sudur [22]. Kurutma işlemleri ile değişmez [23].
- *Serbest su (Kapiler su)*: Hücre aralarında ve içlerinde bulunan sudur. Oluşumunda fiziksel çekim söz konusu değildir [22]. Yaş odun ve tahtalardaki ıslaklık hissi, bu suyun fazlalığından kaynaklanır [23].

Ahşabın nem oranı, ahşaptaki su ağırlığının (W_{su}), kuru ahşabın ağırlığına oranının (W_{kuru}) yüzdesidir:

$$\text{Nem oranı (\%)} = \frac{\text{Ahşaptaki su ağırlığı } (W_{su})}{\text{Tam kuru ahşabın ağırlığı } (W_{kuru})} \times 100$$

Ahşabın ortam sıcaklığı ve nem içeriğine bağlı olarak (RH^1), doygunluğa ulaştığı bir denge nem oranı (EMC^2) vardır. Şekil 2.6’te bu ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Bağıl neme göre ahşabın nem oranının yüzdesel değişimi [24].

2.5.2 Ahşabın yoğunluğu

Ahşabın yoğunluğu, ağaç türüne göre değişmekle beraber genellikle 320-720 kg/m³ aralığındadır. Ağacın yapısındaki farklılıklardan, yoğunluk sabit bir değere sahip değildir. Ağacın nem oranının artmasıyla kütlesi ve hacmi artar, sonuç olarak yoğunluk da değişir [25] :

$$W\text{-yoğunluk (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Nem içerikli ahşap ağırlığı}}{\text{Nem içerikli ahşabın hacmi}}$$

¹ RH: relative humidity.

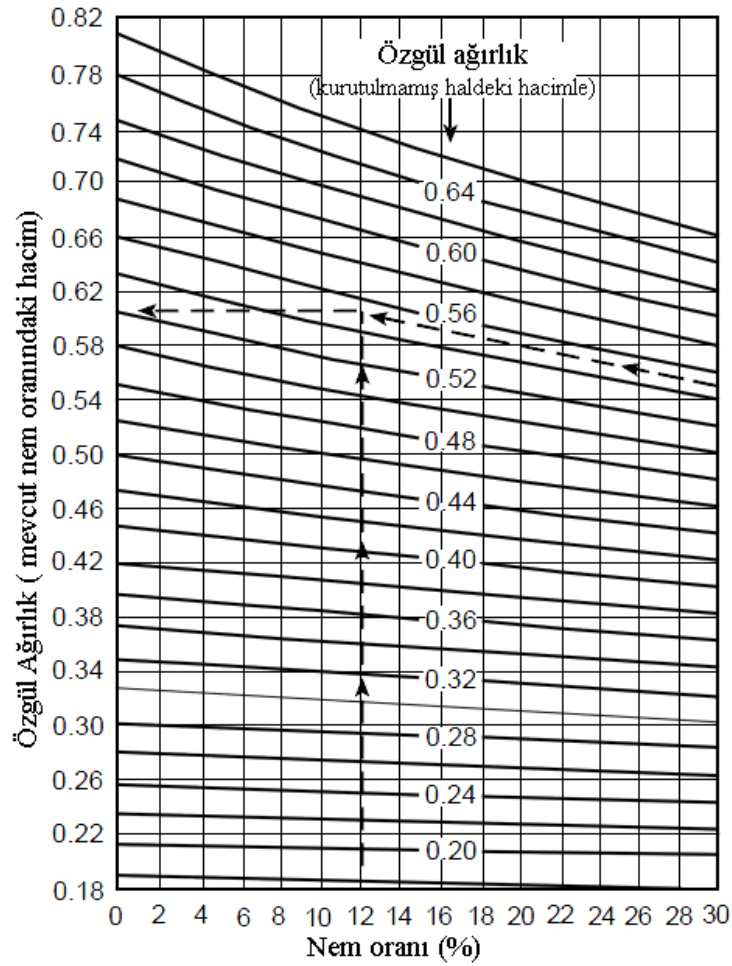
² EMC: Equilibrium moisture content.

2.5.3 Ahşabın özgül ağırlığı

Özgül ağırlık (SG^1), bir maddenin yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranıdır. Ahşapta ise hücre duvarı miktarının ölçülmesine dayanır. Ahşabın nem oranı %0 kabul edilerek (OD^2) ağırlığının, aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı hesaplanarak bulunur [22].

$$SG = \frac{\text{Fırın kurusu ahşap ağırlığı}}{\text{Aynı hacimdeki suyun ağırlığı}}$$

Eğer ahşabın fırın kurusu ağırlıktaki özgül ağırlığı biliniyorsa, Şekil 2.7’de verilen tablodan, % 0-30 arasında değişen nem oranlarına göre özgül ağırlığı belirlenebilir [25].



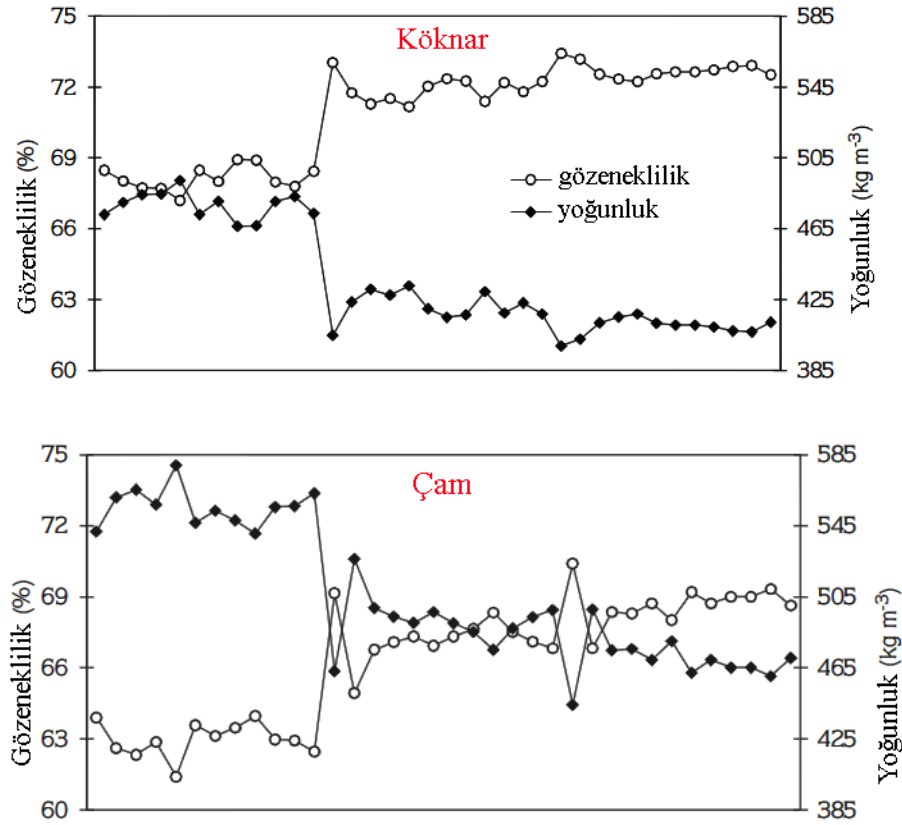
Şekil 2.7 Ortamdaki nem oranı-özgül ağırlık değişimleri [25].

¹ SG: Specific gravity.

² OD: Ovendry weight.

2.5.4 Ahşabın boşluk oranı

Ahşabın gözenekliliği, içindeki mutlak boşluk hacmidir. Ağacın yapısındaki hücre duvarı miktarının, ahşaptaki boşluk miktarına oranı, yoğunluk üzerinde önemli şekilde etkilidir. Yoğunluk ile boşluk oranı, genellikle ters orantılıdır. En çok tercih edilen yumuşak odun türlerinden köknar ve çamın yoğunluk-boşluk oranı değişimleri Şekil 2.8’de verilmiştir [26].



Şekil 2.8 Köknar ve çamın yoğunluk/boşluk oranı ilişkisi [26].

2.5.5 Ahşabın şişmesi- büzülmesi

Şişme:

Suyun hücre duvarından girmesiyle, hücre duvarı itilir. Hücreye giren su miktarı ile orantılı olan bu olay şişmeye (hacimsel genişleme) neden olur. Ahşabın şişme oranı verilen förmülle bulunur [22]:

$$\text{Genleşme (\%)} = \frac{\text{Nemli boyutlar} - \text{Kuru boyutlar}}{\text{Kuru boyutlar}} \times 100$$

Büzülme:

Su hücreden atıldığında ise hücre duvarı içeri doğru çekilir ve hücrenin büzülmesine neden olur. Ahşap kururken hacim kaybına uğramasıyla, rijitlik ve dayanımı artar, buna karşın enerji yutma kapasitesi azalır [23]. Büzülme oranı verilen formülle hesaplanır [22]:

$$\text{Büzülme (\%)} = \frac{\text{Nemli boyutlar} - \text{Kuru boyutlar}}{\text{Nemli boyutlar}} \times 100$$

Ahşapta özellikle büzülme olayı önem taşır. Ölçülen üç temel büzülme tipi vardır ve bunların ortalamam değişim oranları şöyledir [22]:

- Boyuna büzülme: % 0.1 - 0.3 arası,
- Radyal büzülme: % 2.1 - 7.9 arası,
- Teğetsel büzülme: % 4.7 - 12.7 arası.

Teğetsel büzülme, radyal büzülmenin genellikle 1.5-2 katı kadardır. Büzülmenin ahşapta etkisi Şekil 2.9’da verildiği gibi dört farklı şekilde olabilir.



Şekil 2.9 Ahşapta yüzeysel büzülmenin farklı durumları [27].

2.5.6 Ahşabın Isı – Ses – Elektrik İletkenliği

Isı iletkenliği:

Ahşap, hücreli yapısını oluşturan selüloz maddesi nedeniyle ısıyı az iletir [23]. Ahşabın ısı iletkenlik katsayısı, hücrelerin boyutları ve zar kalınlıklarındaki farklılıklardan dolayı, ağaçtan ağaca değişkenlik göstermektedir. Liflere dik yönde, iyi bir izolatörken, liflere paralel yönde ise ısı iletebilir. Liflere paralel yönde ise ısı iletimi, liflere dik yöndekinden 2-3 kat daha fazladır [22].

Ses İletkenliği:

Ahşabın ses iletkenliği, elastisite modülü ile doğru; yoğunluğu ile ters orantılıdır. Bu nedenle, elastisite modülünün liflere paralel durumda, liflere dik durumdakinden daha fazla olduğu göz önünde bulundurulursa, sesin ahşapta liflere paralel yönde daha kolay hareket edebileceği ortaya çıkar. Ayrıca, nem oranı veya sıcaklık arttıkça, ses iletkenliği azalır [22].

Elektrik İletkenliği:

Elektrik iletkenliği, belirli bir akım verilen ahşabın içinden geçen elektrik miktarıdır. Genel olarak, ahşabın nem oranının artımına bağlı olarak iletkenliği de hızla artar. Ahşabın nem oranı %8'den az iken direnç çok değişmez, ancak %10-12 oranını aştığında dirençte azalma iki kat daha hızlı gerçekleşir [25].

2.5.7 Ahşabın rengi ve kokusu

Hücre zarında bulunan ikincil maddeler ağaca renk verir. Aynı tür ağaçların rengi birbirinden farklı olabilir (Şekil 2.10). Ahşabın kokusu, ağacın yapısında bulundurduğu birtakım organik maddelerin buharlaşması sonucu meydana gelir. Çam ağacına reçinesi, meşe ağacına ise taneni koku verir. Çeşitli nedenlerden dolayı çürüyen ağaç, çevreye kötü koku yayar [28].



Şekil 2.10 Douglas köknarının kesim sonrası rengi [29].

2.6 Ahşabın Mekanik Özellikleri

Ahşabın mekanik özellikleri; liflere paralel basınç ve çekme, liflere dik basınç, kayma dayanımı, eğilme dayanımı (MOR^1) ve elastisite modülü (MOE^2) değerleridir. Ahşap, yapısal olarak kullanılmadan önce, standartlara uygun şekilde bir takım uygulamalardan geçer. Bu uygulamalarda, ahşap dayanım değerlerine göre derecelendirilir. Ahşabın derecelendirilmesine yönelik birçok ülkenin kendi standartları vardır. Ahşabın derecelendirilmesi, *görsel* ve *makinelî* olarak yapılır [1]:

¹ MOR: *modulus of rupture*.

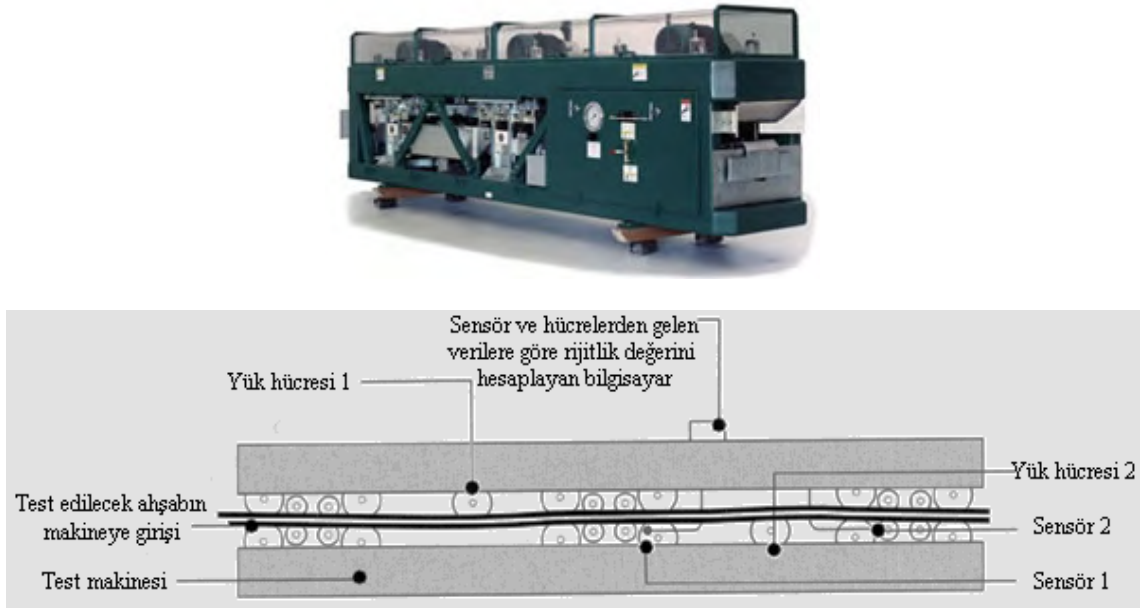
² MOE: *modulus of elasticity*.

Görsel derecelendirmede, ahşapta gözle görülebilen kusurlar (budaklar, damarların eğimi, reçine oluşumu, şekil bozuklukları vb) incelenir [1]. Makinesiz veya makineli uygulanabilir (Şekil 2.11). Ancak dayanım belirleme açısından kesin sonuç almak mümkün değildir.



Şekil 2.11 Makineli görsel dereceleme uygulaması [30].

Makineli derecelendirme, kuvvet testleri yapılarak belirlenir (Şekil 2.12). Günümüzde iki şekilde yapılabilmektedir: birincisi doğrudan ahşabın rijitliğini ölçer¹, ikincisi ise günümüzde daha yaygın kullanılan, birçok noktadan ahşabın yoğunluğunu ölçer² [31].



Şekil 2.12 MSR makinesi ve makineli dereceleme yöntemi [31].

Testler sonunda ahşap, yumuşak ve sert odun için belirlenmiş dayanım sınıflarına göre ayrılır. Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi 12 tanesi yumuşak odun, 6 tanesi sert odun için olan toplam 18 dayanım sınıfı bulunmaktadır³ [1].

¹ Machine stres rated (MSR).

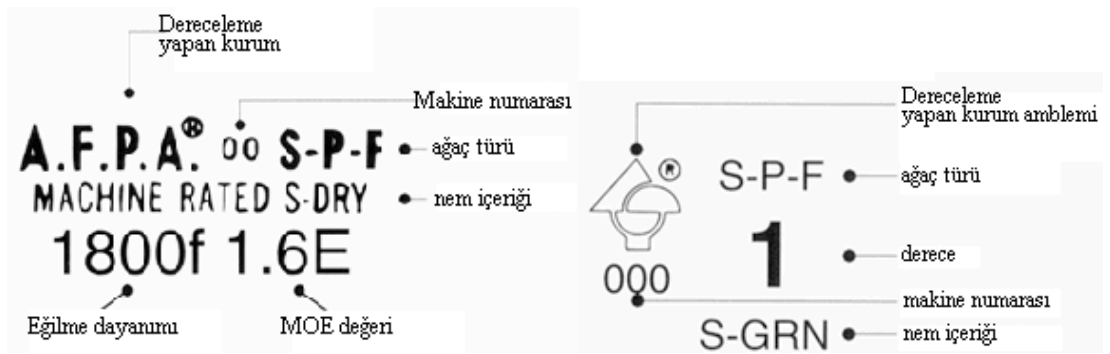
² Machine evaluated lumber (MEL).

³ Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings (BS EN 1995-1-1:2004).

Çizelge 2.2 Yumuşak ve sert odun türlerinin dayanım ve yoğunluk değerleri [1].

Dayanım sınıfı		Tipik dayanım özellikleri (N/mm ²)							
		Eğilme	Çekme		Basınç		Kesme	MOE	Yoğunluk
		0	90	0	90	0	90		
		(f _{m,k})	(f _{t,0,k})	(f _{t,90,k})	(f _{c,0,k})	(f _{c,90,k})	(f _{v,k})	(E _{0,mean})	(ρ _k)
Yumuşak odun türleri	C14	14	8	0.4	16	2.0	1.7	7.0	290
	C16	16	10	0.5	17	2.2	1.8	8.0	310
	C18	18	11	0.5	18	2.2	2.0	9.0	320
	C20	20	12	0.5	19	2.3	2.2	9.5	330
	C22	22	13	0.5	20	2.4	2.4	10.0	340
	C24	24	14	0.5	21	2.5	2.5	11.0	350
	C27	27	16	0.6	22	2.6	2.8	11.5	370
	C30	30	18	0.6	23	2.7	3.0	12.0	380
	C35	35	21	0.6	25	2.8	3.4	13.0	400
	C40	40	24	0.6	26	2.9	3.8	14.0	420
	C45	45	27	0.6	27	3.1	3.8	15.0	440
	C50	50	30	0.6	29	3.2	3.8	16.0	460
Sert odun türleri	D30	30	18	0.6	23	8.0	3.0	10.0	530
	D35	35	21	0.6	25	8.4	3.4	10.0	560
	D40	40	24	0.6	26	8.8	3.8	11.0	590
	D50	50	30	0.6	29	9.7	4.6	14.0	650
	D60	60	36	0.6	32	10.5	5.3	17.0	700
	D70	70	42	0.6	34	13.5	6.0	20.0	900

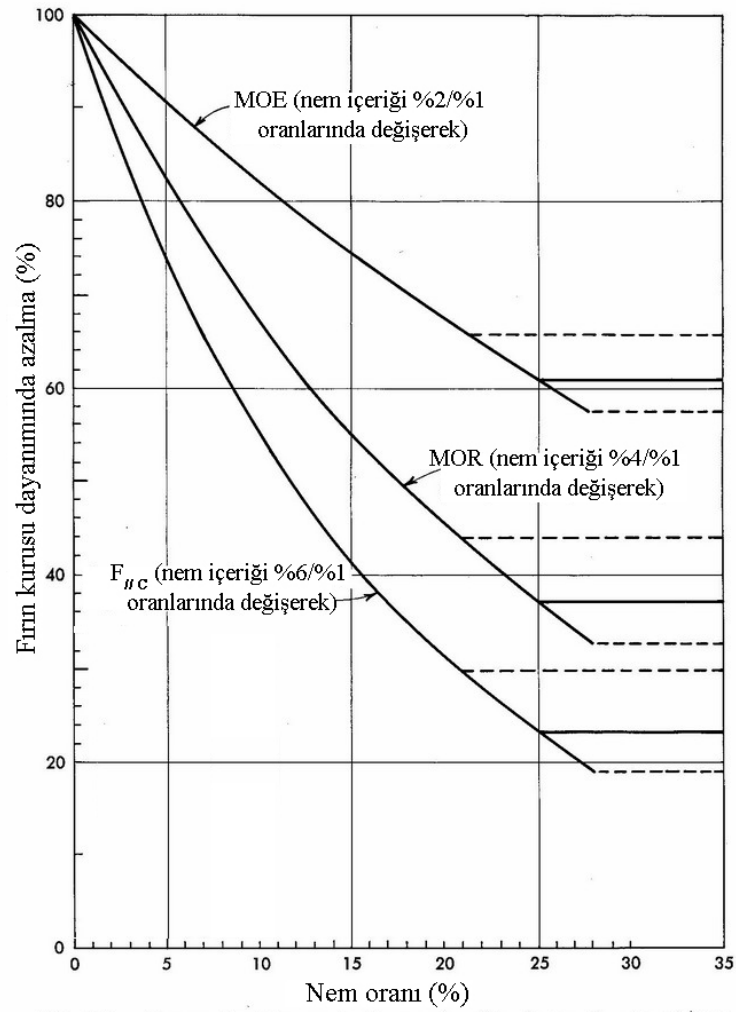
Makinelerde yapılan derecelemeler sonrasında, ahşap malzeme etiketlenir. Genel olarak, bu etiketlerde, ağaç türü, dayanım değerleri, dereceleme türü, derecesi, üretici firma logosu ve dereceleme yapan makinenin numarası yer almaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Makine ve görsel dereceleme örnek etiketlemeleri [31].

Sert odun türleri, ekonomik olmadıklarından yapı endüstrisinde tercih edilmez. İnşaat alanında kullanılan ahşap malzemelerin, özellikle konut yapımında, %75'i yumuşak odundan üretilir ve bu oranın büyük kısmı batı ağaçlarından¹ üretilir [32].

Ahşabın nem oranı ve ortamın sıcaklık değerlerinin değişmesi, dayanım değerlerinin değişmesine neden olur. Ahşap, nem oranının artması sonucu, fırın kurusu dayanımının $\approx$ %75'ini kaybetmektedir. Bu durumun $F_{//c}$, MOR ve MOE değerleri üzerindeki etkisi Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Nem artışına bağlı olarak, ahşapta dayanım azalması [33].

¹ ABD için geçerli olup, Douglas köknarı, karaçam ve ladindir [32].

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLERİN ÜRETİM ESASLARI

Ahşap endüstrisinin gelişmesine paralel olarak yapısal olarak kullanılan ahşap daha güçlü hale getirilmiş ve taşıma kapasitesinin artırılması sağlanmıştır. Üretilen tüm ahşap kompozit çeşitlerinin hepsi ortak bir ad altında, SCL (*Structural Composite Lumber*), tanımlanır. SCL ürünler, ağaç kütüklerine farklı kesimler uygulanmasıyla üretilirler. SCL üretiminde önemli olan uygulanan laminasyon tekniğidir.

Laminasyon tekniğinin endüstri açısından olumlu yanları şunlardır [15], [34]:

- Masif ağaca göre, daha büyük boyutlu ürünler elde edilebilir.
- En-boy birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile ağaç malzemenin fire oranı azalır.
- Yapısal elemanlarda gerekli yerlerde kesit arttırılabilir.
- Farklı kalınlık, renk ve dokuda ağaç malzeme kullanılabildiğinden, daha estetik eleman elde edilebilir.
- Üretilen elemanlar, masif ahşaba kıyasla boyutsal bakımdan daha stabildir.

Kompozit ahşap üretimi, büyük teknolojik kurulumları gerektiren bir alandır. Binlerce dönüm alan içerisinde kurulmuş pek çok fabrika çeşitli ülkelere yayılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Kompozit ahşap üretim fabrikası [35].

Tüm ahşap kompozitlerin üretimde şu ana adımlar takip edilir:

- 1.Kütüklerin hazırlanması, tomruklama, tomrukların kesilmesi,
- 2.Tutkal uygulanması, gerekli şekle göre kalıplama ve presleme işlemleri,
- 3.Emprenye ve kür alma işlemleri,
- 4.Ön-montaj işlemleri, nakliye ve kurulum.

3.1 Kütüklerin hazırlanması, tomruklama, tomrukların kesilmesi

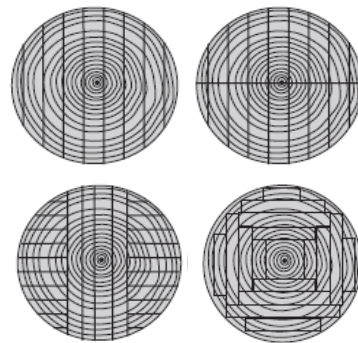
Kalın ve kabaca kesilmiş ağaç gövdesinin (kütük); gövde boyunca bütün dal, ur ve şişkinliklerden temizlenmesi, kabuklarının soyularak istenilen boylara bölünmesi işlemine “tomruklama”; kabuksuz orta çapı en az 21 cm, boyu 1.5 metre ve daha uzun olan yuvarlak oduna ise “tomruk” denir¹ [21]. Son yıllarda dünyadaki ormanların azalmasına bağlı olarak tomrukların daha verimli kullanılması için farklı kesim teknolojileri geliştirilmiştir. Kütüklerin kabukları, elle soyulabileceği (Şekil 3.2) gibi makinelerde de soyulabilir.



Şekil 3.2 Elle kabuk soyma [36].



Şekil 3.3 Tomruk halinde kütükler [37].



Şekil 3.4 Farklı şekillerde kesimler [1].

Tomruklar, daha sonra açık alanda istiflenir (Şekil 3.3). Tomruklar, standart ölçülerde inşaat, doğrama ve mobilya kullanıma uygun veya standart dışı özel ölçülerde kesilebilir [37]. Kabukları çıkarılan tomruklar, daha sonra atölyelerde kesilip, biçilerek kereste haline getirilir. Tomruklara farklı yerlerden ve yönlerden biçme işlemleri uygulanabilir (Şekil 3.4).

¹ İğne yapraklı-yumuşak odunların kabukları soyulur, Meşe, Kayın, Gürgen gibi sert-yapraklı ağaçların kabukları soyulmaz [21].

Oluşturulan keresteler kullanım amaçlarına göre ayrı ayrı istiflenir. İstif alanında yerin beton olması, temiz ve kuru olması şarttır [15]. Kesim işleminden sonra keresteler, açık havada kurumaya bırakılır veya fırınlarda nem içerik oranları %10-12 arası olacak şekilde kurutma işlemine tabii tutulur.

3.2 Tutkal uygulanması, gerekli şekle göre kalıplama ve presleme işlemleri

Ek işlemler olmadan ahşabın kullanımı, doğal uzunluğunun kısa ve enkesininin küçük olması nedeniyle oldukça sınırlıdır. Bu sınırlılığı ortadan kaldırma ve ahşaba farklı boyutlar kazandırmanın yöntemi, ahşap tabakalarının birbirlerine tutkallarla yapıştırılmasıdır [38].

3.2.1 Tutkallar

Tutkallar, iki malzemeyi birbirine adezyon ve kohezyon kuvvetleriyle yapıştıran, yapıştırdığı yüzeyde herhangi bir yapısal değişikliğe yol açmayan, sıvı kıvamda olan maddelerdir. Bu yapışma işleminde başka hiçbir mekanik bağlantı aracı kullanılmadan yükler uygulandığında, yapışan birden fazla eleman tek bir eleman gibi davranır [38].

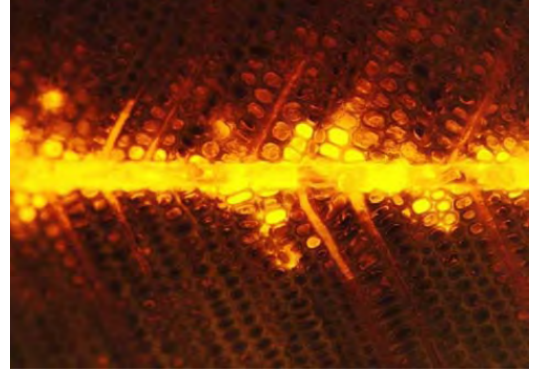
3.2.1.1 Yapışma

Tutkallar, kendi molekülleri arasında elektromanyetik ve elektrostatik kurallara bağlı olarak bir çekim kuvvetine sahiptir¹. Yapışma işleminde, mekanik adezyon ve özgül adezyon kuvvetleri esastır. Tutkalın ahşap içerisine nüfuz edip katılaşması ve bir bağ oluşturması “mekanik adezyon”, bu nüfuz olayında etkili olan moleküler arası atomik çekim kuvveti “özgül adezyon” olarak isimlendirilir. Her iki adezyon birbirini tamamlar [39].

Tutkal, su kaybederek ve soğuyarak fiziksel veya katalizör etkisiyle kimyasal yoldan katılaşır. Kimyasal bazlı tutkalların mekanik dayanımları, fiziksel bazlı tutkallara göre daha yüksektir.

¹ Maddelerin kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetine “Kohezyon Kuvveti” denir. Bir tutkalın kohezyon kuvvetinin büyüklüğü kimyasal yapısıyla ilgilidir. Katı ve sıvı maddeler de her bir molekül diğer moleküllerle çevrilidir. Bu durumda, moleküller birbirlerinin kohezyon kuvvetinin etkisi altına girmektedir. Bu oluşuma bağlı olarak, iki farklı maddenin yüzeyinde ve yüzeyine yakın doymamış moleküllerinin atomik çekimi birbirine temas etmelerini sağlar. Bu olaya da “Adezyon kuvveti” denmektedir [39].

Genelde yük taşıyan eleman bağlantılarının yapıştırılmasında kimyasal esaslı tutkal uygulanır. Çünkü fiziksel esaslı tutkallar yüksek kayma oranı göstermektedir ki bu yük taşıyan elemanlar için hiç istenmeyen bir durumdur [38]. Şekil 3.5'te tutkalın ahşaba nüfuzu gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Tutkal tabakasının ahşap yüzeye nüfuzunun mikroskopik görüntüsü [38].

3.2.1.2 Yapışma dayanımını etkileyen faktörler

Yüzey pürüzlülüğü:

Kesim sonrası elde edilen ahşap levha yüzeyi pürüzlüdür. Bu tür yüzeylerde, tutkalın temas edemeyeceği alanlar veya tutkal katmanında kabarıklıklar olacağından iyi bir yapışma sağlanamaz [39].

Rutubet miktarı:

Tutkallama anında, odunun rutubet miktarı, birleşimin nihai dayanımını ve yapıştırılmış ürünün boyutsal stabilitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Ahşapta nem oranının fazla olması, hem odunu hem de yapışma dayanımını ciddi şekilde zayıflatır, çekme ve basınç gerilmelerine neden olur [40].

Yüzeydeki ilkbahar ve yaz odunu miktarları:

İlkbahar odunu, yaz odununa göre daha düşük yoğunluklu olup boşluk oranı daha yüksektir. Bu sebeple, tutkalın ilkbahar odununa nüfuz etmesi, yaz odununa göre daha kolaydır [39].

Öz odun ve diri odun miktarları:

Gövde enkesitinde, yaz odunu ve öz odun oranı fazla olan odunlar zayıf yapışma kabiliyeti; ilkbahar ve diri odun oranı fazla olan odunlar daha iyi yapışma kabiliyeti göstermektedir [41].

Geçirgenlik (Permeabilite):

Geniş yapraklı ağaç odunlarının geçirgenliği, iğne yapraklı ağaç odunlarına göre daha yüksektir. Bundan dolayı, geniş yapraklı ağaçlar daha iyi yapışma özelliği göstermektedir [39].

Öz sıvılar:

Ağacın içyapısındaki reçine, tanen vb. sıvılar, yapışma dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, yapıştırılacak yüzey, kimyasal maddeler ile temizlendikten sonra tutkalanmalıdır [41], [40].

Tutkal türü:

Tek bir tutkal çeşidi tüm yapısal kullanım alanları için uygun değildir [39]. Sıcak, nem, kimyasallar ve mikroorganizmalara dayanıklılık gereken yerlerde tutkal seçiminde dikkatli davranılmalıdır.

Tutkal katı kalınlığı:

Kullanılacak tutkal miktarı, esas olarak tutkalın türüne ve uygulanacağı ahşap türüne bağlı olsa da endüstride yaygınlaşmış uygulamalar vardır. İdeal tutkal kalınlığını için en az 200 gr/m² tutkal kullanılmalıdır [42].

Pres basıncı:

Yapıştırılacak ağaç malzeme ile tutkal arasında iyi adezyon sağlanması için basınç verilmesi olarak, ağaç türüne ve tutkal özelliklerine göre farklılık gösterse de; çam türü yumuşak ağaçlarda ≈ 4 kg/cm², diğer yumuşak ağaçlarda 8-10 kg/cm², sert ağaçlarda ise ≈ 16 kg/cm² uygulanması yeterlidir [15], [39].

3.2.1.3 Sınıflandırma

Modern ahşap endüstrisinde kullanılan tutkallar, temel olarak yapıda kullanım yerleri ve kimyasal yapılarına göre iki şekilde sınıflandırılabilir:

- Yapıda kullanılan yerlerine göre taşıyıcı, yarı-taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanlara uygulanan tutkallar olarak ikiye ayrılır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Yapıda kullanım yerlerine göre tutkalların sınıflandırılması [43].

Yapısal önem	Kullanım koşulları	Uygun tutkal türü
Taşıyıcı	Tümüyle dış ortam (hava koşullarından sürekli etkilenen)	Fenol-formaldehit Resorsinol-formaldehit Fenolresorsinol-formaldehit Emülsiyon-polimer/izosiyanit Melamin-formaldehit
	Sınırlı dış ortam (hava koşullarından kısa süreli etkilenen)	Melamin-üre-formaldehit İzosiyanit Epoksi
	Kapalı ortam (kontrollü hava koşulu)	Üre-formaldehit Kazein
Yarı-taşıyıcı	Sınırlı dış ortam	Çapraz-bağlı polivinil asetat Poliüretan
Taşıyıcı olmayan	İç ortam	Polivinil asetat Hayvansal Soya bazlı Elastomerik yapı Elastomerik bağ Sıcak eriyik Nişasta esaslı

- Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma daha geniş ele alınmaktadır. Temelde, *organik esaslı* (hayvansal ve bitkisel esaslı) ve *sentetik esaslı* (petrol, doğal gaz ve kömür gibi petrokimyasallar) olarak ele alınır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Organik esaslı tutkalların sınıflandırılması [34], [44].

Organik esaslı tutkallar	
Hayvansal tutkallar	<i>Glüten Tutkalları:</i> - Esas maddesi albümin olan, kemik ve deri sanayi artıklarından elde edilen glüten tutkalları; deri tutkalı olarak bağırsak ve deri artıklarından, kemik tutkalı olarak eti alınmış kemiklerden, balık tutkalı olarak balık taşı ve kılçıktan elde edilirler. - Kuru toz olarak üretilir ve uygulanacağı zaman ıslatılır. Oda sıcaklığında basınçlanır ve kürlenir. - Bu tutkallar suya ve rutubete karşı dayanıklı olmadıklarından tutkallı tabakalanmış ahşap yapılarda kullanılmamalıdır.

Çizelge 3.2 Organik esaslı tutkalların sınıflandırılması [34], [44] (devam).

Organik esaslı tutkallar	
Hayvansal tutkallar	<i>Kan tutkalları:</i> • Mezbahalarda kesim sonrası, kalan hayvan kanlarından serumun buharlaşması beklenir ve kalan katılaşmış albüminleri toz haline getirilip, buna kireç ve su katılmasıyla oluşturulur. • Gerekli şartların sağlanması için sıcak preslenmesi gereklidir. • Günümüzde hala az da olsa mobilya ve kontrplak sanayisinde kullanım alanı bulmaktadır. Fakat ahşap kompozitler için elverişli değildir.
	<i>Kazein tutkalları:</i> • Süt kaymağından veya yağından üretilirdi. Diğer hayvansal ve bitkisel tutkallar gibi toz halinde satılır ve uygulama sırasında sulandırılması gerekirdi. • Bitkisel tutkallara göre ıslanmışta bekleme ömrü çok azdır. • Sentetik reçineler yaygınlaşana kadar çok tercih edilmekteydiler. Çünkü yüksek nem dayanımı ve su geçirimsizlik özelliği vardır. • Günümüzde, süte duyulan tüketim ihtiyacı nedeniyle endüstride kullanımı kalmamıştır.
Bitkisel tutkallar	<i>Niştastalı:</i> • Hala Amerika’da kullanım alanı bulsa da artık modern endüstride tercih edilmemektedir. • Sert odundan üretilen kontrplaklarda kullanılmaktadır.
	<i>Soyalı:</i> • Kazein tutkallarına benzer özellikler gösterir fakat su geçirimsizliği çok zayıftır. Sıcak basınçlanır. • Geçmişte Douglas köknarından üretilen kontrplaklarda kullanılırdı.

Sentetik reçine tutkallarının sektörde geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Sentetik tutkallar fiziksel özellikleri açısından organik tutkallara benzerler ancak, su geçirimsizlikleri çok daha yüksektir [44]. Bu endüstride kullanılan sentetik tutkallar, termoset ve termoplastik tutkallar olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır [38], [44], [45], [46]:

Termoset tutkallar:

Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Bir daha asla tekrar tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler. Daha sert ve aynı zamanda gevrekler [47]. Tabakalı ahşap üretiminde kullanılan en iyi kaliteli tutkallardır [46].

Bu gruptaki tutkalların ana maddesi formaldehittir. En önemlileri, Resorsin-formaldehit (RF), Fenol-resorsin-formaldehit (PRF), Melamin-formaldehit (MF), Melamin-üre-formaldehit (MUF), Üre-formaldehit (UF) tutkallarıdır (Çizelge 3.3). Bu tutkalların genel özellikleri şöyle sıralanabilir [2]:

- | | |
|---|---|
| - Göreceli olarak uzun basınç ve kür süresi | - Olası lif hasarı (asidik katılaşmaya bağlı) |
| - Kırılgan davranış | - Ekonomiklik |
| - Büzülme gerilmesinde artış | - Dayanıklılık |
| - Yeterli boşluk doldurma kabiliyeti | - Formaldehit yayımı. |

Bu grupta yer alan ve aynı yöntemle oluşturulan ancak, hammaddesi formaldehit olmayan tutkallar da vardır. Bunlar, emülsiyon-polimer-izosiyanit (EPI) ve tek bileşen-poliüretan (1C-PUR) dur [46]. Bu gruba ait tutkalların özellikleri biraz daha farklıdır [2]:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| - Daha kısa kür süresi | - Daha pahalı fakat yüksek verimli |
| - Daha az sıkıştırma basıncı | - Yüksek neme dayanıklı |
| - Lif hasarı yok | - Formaldehit yayımı yok |
| - Düşük boşluk doldurma kabiliyeti | |

Diğer tutkal türü epoksi reçine (EP) tutkallardır. Termik özellikleri ve kimyasal mukavemetleri çok iyidir, hava şartlarına dayanıklıdır. Oldukça düşük olan mukavemetleri lifli güçlendiricilerle iyileştirilebilir. Yüksek boşluk doldurma kabiliyetlerinin yanı sıra birçok malzemeye uygulanabilir. Ancak, pahalı olmaları nedeniyle daha çok onarım veya güçlendirme amaçlı kullanılır [2].

Termoplastik tutkallar:

Isıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulunca sertleşir, katılaşır. Şekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramaz. Dönüştürülebilir halde kalır ve kolayca sıcaklıkla yumuşayabilir [47]. Bu nedenle ısı derecesi çok iyi kontrol edilebilecek hacimler için üretilen ahşap kompozitlerde kullanılabilir. Soğukta işlenirse rutubete dayanmaz; sıcakta işlenirse dayanır. Bu tutkalların işçiliği basit ve kolaydır [34]. PVA emülsiyonları ve sıcak eriyik tutkallar bu grupta yer alır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Kimyasal oluşumlarına göre inorganik tutkalların sınıflandırılması
[40], [41], [44], [45], [48].

İnorganik esaslı – Sentetik tutkallar	
Termoset tutkallar	<i>Üre-formaldehit:</i> • En çok kontrplak ve yonga yapımında kullanılır. • Hem sıvı halde hem de toz halde bulunabilir. Katılaştırıcılarla ve dolgularla¹ karıştırılabilir. • Oda sıcaklığından başlayan ve 240⁰ C’da kadar yükselen sıcaklıklarda kür alabilir ve kür süresine etkiyen uzatıcılarla karıştırılabilir. • Hiçbir şeyle karıştırılmamış üre-formaldehit açık renklidir ve yüksek nem dayanımına sahiptir.
	<i>Melamin-formaldehit:</i> • Üre-reçinelerden daha dayanıklıdır, ancak fenol ve resorsinol reçineler kadar dayanıklı değildir. Ayrıca, üre-reçinelere göre daha pahalıdır. • Melamin reçineler, en az 115⁰C’da kürlenmesi gereklidir. • Melamin-formaldehitin doğrudan kullanımı bazı alanlar dışında sınırlı kalmıştır. Doğrudan deniz ile temas halindeki ahşap elemanlarda tercih edilmektedir.
	<i>Fenolformaldehit:</i> • Çok çeşitli amaçlarla üretilen yumuşak ağaçtan kontrplak üretiminde kullanılmaktadır. • Bu reçineler koyu kırmızımsı renkte ve hem sıvı hem de toz halde bulunabilir. • Kürleme işlemi için oda sıcaklığından başlayıp 135⁰C’a kadar değişen sıcaklıklar gereklidir. • Çeşitli dolgu ve hızlandırıcılarla karıştırılsa bile, yüksek dayanımlı birleşimler oluştur.
	<i>Resorsinol ve fenol-resorsinol formaldehitler:</i> • Normal fenol-formaldehitlerden çok daha pahalıdır ve çok özel alanlarda kullanılır. • Koyu kırmızı renkte ve genelde sıvı olarak bulunur. Kürleme sıcaklıkları 21 - 65⁰C’dır. • Pahalı olması sebebiyle, suya dayanıklı glulam kiriş ve I-kirişlerde kullanılır.
	<i>İzosiyanitler:</i> • Pahalı olması, teknik zorluklar ve sağlığa zararlı olmaları nedeniyle geniş alanda kullanım imkânı bulamamıştır. • Nem dayanımı çok yüksektir, bu nedenle dış ortam uygulamaları için idealdir.

¹ Dolgular ve uzatıcılar reçineye, akışkanlığı, viskoziteyi, ahşaba nüfuz kabiliyetini arttırmak ve daha ince tutkal hattı ile yüksek dayanım sağlamak amacıyla katılırlar.

Çizelge 3.3 Kimyasal oluşumlarına göre inorganik tutkalların sınıflandırılması
[40], [41], [44], [45], [48] (devam).

Termoplastik tutkallar	<i>Polivinil asetatlar:</i> • PVAc tutkalının soğuk olarak uygulanması, kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz oluşu, odunu boyamaması ve işlenmesi sırasında aletleri yıpratmaması gibi özellikleri yanında mekanik direnci sınırlı olup, sıcaklık yükseldikçe yumuşamakta ve 70 °C' den sonra bağlayıcı görevi yapamamaktadır. • Sıcaklığa dayanımı düşüktür. • Suya karşı dayanımını arttırmak için bir miktar etilen glikol katılmaktadır. • Oda sıcaklığında hızlı bir şekilde uygulanmaları gereklidir. Birleştirilecek yüzeylerden yalnız bir tanesine yapıştırıcı sürülmesi ve ahşap türü ile birleşme yüzeyinin durumuna göre 150 - 200 gr/m² yapıştırıcı kullanılması iyi bir birleşme için yeterli olmaktadır. • Ancak yapıştırıcının yapışma niteliğini kazanması için beklenen süre, ortalama 5-15 dakikadır. Kolay uygulanabilmelerinden dolayı düşük basınçla sıkıştırılabilir. • Maliyet açısından çok uygundur. Sıcaklığa karşı zayıf olduğundan ahşap kompozitlerde kullanılmamalıdır.
	<i>Sıcak eriyik tutkallar:</i> • Normal şartlar altında katı halde olan, yüksek sıcaklıkla eriyen reçinedir. • Damla halinde uygulanır. Soğumaya başladıkları anda yapışkanlık özelliklerine yeniden kavuşur. • Daha çok basit dekoratif ahşap ürünlerin yapıştırılmasında kullanılır.

Ülkemizde, Avrupa standartlarından EN 301¹ ve EN 302²,den yararlanılarak standartlar oluşturulmuştur. Belirtilen standartlarda tutkallar; dış ortamda kullanılanlar (sıcaklığın 50⁰C'den fazla olduğu yerler) ve korumalı yerlerde kullanılanlar (Sadece kısa süreli hava şartlarından etkilenen ve sıcaklığın 50⁰C'den az olan yerler) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır [2].

3.2.1.4 Tutkal uygulaması

Tutkal uygulanacak ahşap yüzey, makinelerle pürüzsüzleştirilir. Uygun makinelerde tutkal karışımı hazırlanır ve temizlenen parçalar, tutkal püskürtülen bir banttan

¹ TS EN 301(2009): Yapıştırıcılar - Fenolik ve aminoplastik - Yük taşıyıcı ahşap yapılar için - Sınıflandırma ve performans özellikleri.

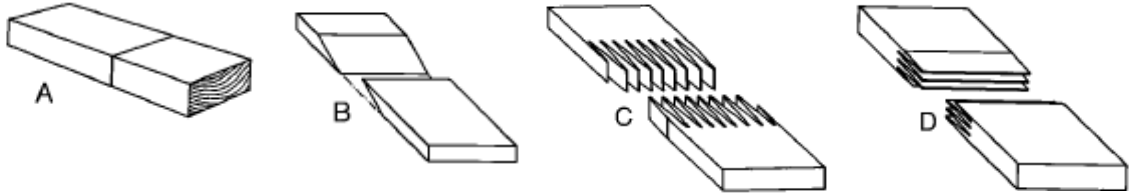
² TS EN 302-4 (2006): Yük taşıyıcı ahşap yapılar için yapıştırıcılar - Deney yöntemleri - Bölüm 4: Ahşap bütülmesinin kayma dayanımı üzerine etkisinin tayini.

geçirilerek tutkallama işlemi başlatılır. Uygulanan tutkal türüne bağlı olarak ortam nem ve sıcaklık değerleri önceden sağlanmalıdır. Daha sonra, gerekli basıncın uygulanması için elemanlar, hidrolik kalibrelelere yerleştirilir ve tutkal elemanlar arası katılaşmaya kadar uygulanır. Eğer gerekliyse, elemana şekil vermek amacıyla çift taraflı mengene uygulanır (Şekil 3.6). Bunlar sonrasında, elemanlar bir sonraki kür işlemi için başka depo alanına taşınır.



Şekil 3.6 Kompozit eleman üretim aşamalarından görüntüler [30], [49].

Tutkallar, ahşap elemanların yüzeylerine uygulandığı gibi, elemanların uç uca yapıştırılmasında da kullanılmaktadır (Şekil 3.7). Boy halinde ağaç canlı olduğundan zaman içerisinde çalışacaktır. Bu uygulamayla ağacın boy yönünde çalışmasının önüne geçilmektedir. Düşük yük taşıma kapasitesine sahip tutkallar bu işlemde yapısal nedenlerden dolayı kullanılmamalıdır.



Şekil 3.7 A:uç-uca – B:pahlı – C:düşey parmak-geçme – D: yatay parmak-geçme [43].

3.2.2 Kalıplama-Presleme

İyi bir yapışma sağlanması için, tutkallanan ahşap malzeme sıkıştırılır. Endüstride bu işleme *presleme* denir ve genellikle 20⁰ C ısı ve %65 bağıl nem ortamında yapılır. Parçaların yüzeyine tutkal sürüldükten sonra, birleştirilen parçalara basınç uygulanana kadar geçen süreye **birleştirme süresi** denir. Bu arada;

- tutkal sürülen parçaların üst üste konulmasına kadar geçen süreye **açık bekletme**,
- üst üste konulan parçalara pres uygulanana kadar geçen süreye de **kapalı bekletme süresi** denir [15].

Bu süreler;

- Kısa tutulursa, ahşap tarafından emilemeyen tutkal, pres işlemi sırasında dışarıya sızacak ve yetersiz tutkal hattı oluşacaktır.
- Uzun tutulursa, tutkalın jelleşmesinden dolayı ahşap malzemeler arasında heterojen tutkal hattı oluşacaktır [15].

Presleme işleminin nasıl yapılacağı, üretilmek istenen elemanın şekline bağlıdır. Eğer, üretilen ahşap eleman doğrusal ise, uygulanan tutkala bağlı olarak sıcak veya soğuk pres makineleri kullanılır. Üretilen ahşap eleman eğrisel ise, hem tutkalın yapışmasını hem de elemanın şekil kazanmasını sağlamak için çift taraflı mengeneler kullanılır. Preslenen ve şekillenen eleman daha sonra, yüzey temizleme işlemine tabii tutulur. Buna ‘zımparalama’ da denir. Zımparalama işlemi bittikten sonra, eleman üzerinde, metal birleşim ve bağlantı yerleri, projede tasarlandığı şekilde biçimlendirilir (Şekil 3.8). Bu işlemler de özel makinelerde yapılır.



Şekil 3.8 Kesme-delme işlemi yapılan elemanlar ayrı ayrı depolanır [50].

3.3 Emprenye ve kür alma işlemleri

Ahşap, bitkisel (mantar türleri) ve hayvansal (böcek ve bakteri türleri) zararlılar ile çevresel koşullar karşısında yeterince dayanıklı değildir ve bu etkiler altında kısa sürede çürümekte, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde önemli değişimler olmaktadır. Ahşaba zarar veren her türlü biyolojik ve çevresel etkilere karşı uygun şekilde korunması zorunludur ve bunun için kullanılan çeşitli kimyevi maddelere “emprenye”¹ denir [51].

¹ TS 344- Ahşap Koruma Genel Kuralları (2006): Ahşabın ve her çeşit mamullerinin özelliklerini bozan veya tahrip eden zarar ve zararlılara karşı girişilen her türlü önleyici veya kurtarıcı işlemlerdir.

3.3.1 Emprenye

Ağaç malzemenin korunması asırlar öncesine dayanmaktadır. Emprenye uygulamasında, ilk olarak kazanda basınç yöntemi (dolu hücre)¹, daha sonra, daha ekonomik bir uygulama olan boş hücre yöntemi² geliştirilmiştir [52]. Boş hücre metodunda daha az miktarda emprenye maddesi ile aynı kalitede emprenye sağlanabilmektedir. Çizelge 3.4'te kreozot maddesinin iki yöntemde tüketim farkı gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Basıncı emprenye yöntemlerinde kreozot maddesi tüketim karşılaştırması [52].

Ağaç türü/Yöntem	Dolu hücre	Boş hücre
Çam	270-300 kg/m ³	60- 90 kg/m ³
Kayın	325-350 kg/m ³	145- 150 kg/m ³
Meşe	85- 100 kg/m ³	45- 50 kg/m ³

Bugün, etki şekilleri, etkili oldukları alanlar ve ekonomik yönden olmak üzere çeşitli sınıflara ayrılan neredeyse 2500 çeşit emprenye maddesi kullanılmaktadır [52].

3.3.1.1 Emprenye maddeleri ve sınıflandırılmaları

Emprenye maddelerini uygulanma şekillerine göre iki grupta inceleyebiliriz:

- **Yüze Sürülen Emprenye Maddeleri**

Boyalar:

- Yağda çözünen boyalar, bir oleoresin³ ortamında inorganik pigmentlerin süspansiyonundan oluşmaktadır.
- Lateks boyalar, inorganik pigmentlerle çeşitli lateks reçinelerin sudaki süspansiyonundan meydana gelir.
- Sabit renkli örtücü boyalar ise çok çeşitli renklerde bulunabilir ancak ahşabın doğal renk ve dokusunu tümüyle örtmektedir [53].

Vernikler:

- Ahşabın en doğal görünümü açık renkli vernik ve lake ile sağlanır, sık sık yenilenmeleri gerekir. Lake dış mekân kullanımı için uygun değildir.

¹ 1831'de Fransız J.R. Breant'ın patentini aldığı yöntem [52].

² 1902'de Wassermann'ın patentini aldığı yöntem [52].

³ Bazı bitkilerde bulunan, hoş kokulu uçucu yağdır. Eczacılık ve gıda sektörlerinde de kullanılmaktadır.

- Açık verniklere UV ışın emicileri ilave edilebilir. Opak olanlar ise ışığa karşı daha uzun süreli koruyucu etki sağlayabilir.
- Bu koruyucular suya karşı çok duyarlı olup kolaylıkla çatlar [53].
- **Derine Nüfuz Ettirilen Emprenye Maddeleri**

Bu emprenye maddeleri genel olarak 4 sınıfta toplanmaktadır [52]:

Yağlı ve Yağ bazlılar: Maden kömürü ve türevlerinden elde edilen maddeler ve bazı petrol ürünleridir. En önemlileri olan kreozot, ağır kokuludur; bu nedenle, kapalı yerlerde kullanılmaması önerilir [52].

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| - Kreozot | - Linyit kömürü katranı |
| - Karbolineum | - Odun katranı ve katran yağı |
| - Taş kömürü katranı | - Petrol ürünleri |

Organik Solventler: Petrolün damıtılmasıyla elde edilen uçucu karakterdeki organik çözücülerde aktif kimyasalların çözünmesiyle elde edilir¹ [52].

- Genellikle, vakum tesislerinde veya daldırma yöntemiyle uygulanır.
- Su içermez, bu nedenle ahşabın dönmesine, boyut değiştirmesine neden olmaz.
- Metal birleşim elemanlarında korozyona neden olmaz.
- Her türlü boya, vernik, tabi ve sentetik polimerler ile tam uyumluluğun sağlanması için emprenye işleminden sonra solventin tamamen uçması beklenmelidir [54].

Solvent salınım miktarını azaltmak için ahşap üreticiler, su esaslı yeni ürünler geliştirmişler ve ürünlerin uygulanma işlemlerinde bazı yenilikler yapmışlardır [55].

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| - Tribütil-tin oksit (ordu) | - Klorlu hidrokarbonlar |
| - Naftenatlar | - Pentaklorfenol (PCP) |
| - Bakır 8-kinolinatlar | - Sentetik piretroidler |
| - Organik civa ve kalay bileşikler | - Çinko-naftenat |

Suda Çözünen Metalik Bileşimli Tuzlar: Bu emprenye maddeleri çok sayıda olup, çözücü olarak sadece su kullanılmaktadır. Değişik amaçlarda kullanıma göre birkaç

¹ Ticari alanda “Protim” adı kullanılmaktadır.

metalik tuzun bileşimi ile oluşturularak, koruma özellikleri değiştirilebilir veya artırılabilir [52].

- ACA (Amonyaklı Bakır Arsenik)
- ACZA (Amonyaklı Bakır Çinko Arsenik)
- ACC (Asit Bakır Kromat)
- CCA (Bakır/Krom/Arsenik)¹
- CCB (Bakır/Krom/Bor)
- CZC (Kromlu Çinko Klorür)
- FCAP (Fluor/Krom/Arsenik/Fenol)
- PAS (Pentaklorfenol/Amonyak/Solvent)
- ACQ (Amonyaklı Bakır Quat)
- Bor bileşikleri²

Suda çözünen emprenye maddelerinin olumlu yanları;

- Temiz, kokusuz ve üzeri boyanabilir bir yüzey sağlar.
- Yıkanmaya karşı dayanıklıdır.
- Biyotik zararlılara karşı etkindir.
- Katı veya konsantre halde taşınabilmekte ve su ile kolayca hazırlanabilmektedir.
- Güvenilir ve ekonomiktir. Kalıcı ve temiz bir ahşap koruması sağlayabilir.
- Genellikle yanmayı geciktirici özelliğe sahip olduklarından, yangın tehlikesi olan yerlerde kullanılan ahşabın korunmasında oldukça önemlidir [52].

Suda çözünen emprenye maddelerinin olumsuz yanları;

- Ahşaptaki rutubet miktarını, su içerdikleri için arttırmaları en önemli dezavantajlarıdır³.
- Kurutulmuş malzeme, bu maddelerle emprenye edildiğinde, genişlemekte ve yüzeyinde çatlaklar ortaya çıkmaktadır.
- Emprenye işleminden sonra ayrıca kurutma yapmak gerekmektedir.
- Arsenik başta olmak üzere kullanılan bileşenlerden bazıları son derece zehirlidir [52].

¹Ticari alanda “Tanalith” olarak bilinmektedir. Tanalith CCA, Tanalith CBC, Tanalith E türleri mevcuttur. Tanalith E, krom ve arsenik içermeyen vakum-basınç sistemiyle uygulanan yeni nesil, kokusuz bir emprenye maddesidir. Metal bağlantılarda korozyona neden olmaz. CCA ile emprenye edilen bir ağaç malzeme açık hava şartlarında 30 yıl kullanılabilir [56], [60].

²Ağır metaller içeren emprenye maddelerin oluşturduğu çevresel sorunlar nedeniyle, bor esaslı koruyucu maddeler ile yeni emprenye maddeleri olan alkilamonyum bileşikleri son yıllarda büyük önem kazanmıştır [57].

³ Rutubetli veya suya maruz kalacak yerlerde kullanılacak ağaç malzemenin, emprenye edildikten sonra, su veya rutubete dayanıklı verniklerle kaplanarak kullanılması önerilmektedir [58].

Borlu bileşiklerin en önemli özellikleri;

- Biyolojik zararlılara karşı yüksek düzeyde etkinliği,
- Su ile çözünerek kolayca uygulanabilmeleri,
- Odunda difüzyon yeteneklerinin yüksek olması,
- Ucuz ve temininin kolay olması,
- Memelilere karşı ihmal edilebilecek derecede düşük zehirlilik etkileri,
- Yangına karşı ahşabın direncini önemli ölçüde artırmalarıdır.
- Kolayca yıkanabilmeleri nedeniyle kullanımları iç mekânlarda sınırlı kalmıştır. Karışımlarına su itici maddeler eklenmesi önerilmektedir.
- Bazı tutkallar ile bazı bor esaslı bileşik çözeltileri uyum sağlayamamaktadır¹ [40], [51].

Özel Amaçlar için Emprenye Maddeleri: Mantarlara, ardaklanmaya ve böceklerle karşı kullanılır. Genellikle, sürme, püskürtme veya daldırma yöntemleri ile uygulanır [52]). Çizelge 3.4’te nasıl oluştukları ve hangi emprenye maddelerinin kullanıldığı açıklanmıştır.

Çizelge 3.5 Mantarların oluşumu, ardaklanma, böceklerin zararları ve önlem maddeleri [58].

Mantarlar	• Mantarlar, oduna renklenme, küflenme ve çürüme şeklinde zarar verir. En önemlileri mavi renk mantarlarıdır. Odunun geçirgenliğinin artmasına ve daha fazla su emmesine neden olur. • Küflenme yapan mantar ise yüzeysel olarak renk değişimine neden olur. • Mantarlara karşı kullanılan emprenye maddeleri: - Boraks - Sodyum karbonat - Sodyum pentaklorfenat
Ardaklanma	• Kayın, kızılâğaç ve gürgen gibi ağaçlarda kesimden sonra mantarların etkisiyle ardaklanma başlar. • Bunu engellemek için kullanılan emprenye maddeleri: - İmmutol B - Ardamaz - Wolmanol-Buche hut - Xylamon ASR - Basilleu

¹Örneğin, borik asit veya sodyum boratlar (PP) tutkalı ile uyumsuzluklar göstermektedir. Buna karşın, çinko boratlar veya susuz boraks, (PP) tutkalı ile başarılı bir şekilde kullanılabilir [57].

Böcekler	• Odunda tahribat yapan çok sayıda böcek türü vardır. Bazı böceklerin larvaları bile odunda tahribat yapmaktadır. • Böceklerin, odunun içerisini kemirmesiyle geriye öğüntüler kalır. Ufak bir darbeye ahşap kopar, öğüntüler etrafa dağılır. Ahşap, kısa sürede kullanılamaz hale gelir. • Ahşabın nemini azaltmak için kurutulması, mantar oluşumunu engelleyebilir, ancak böcek istilaları için yeterli değildir. Bu nedenle mutlaka emprenye uygulanmalıdır.
-----------------	--

3.3.1.2 Emprenye uygulaması

Emprenye işlemi iki farklı durumda uygulanabilir: birincisi, ahşap elemanların tutkallanmasından önce, ikincisi, ahşap elemanların tutkallanmasından sonra. Endüstride genel olarak ikinci yöntem tercih edilmektedir [40]. Emprenye maddelerinin uygulanmasında bundan başka pek çok faktör etkindir. Bunlar arasında önemlileri;

- Kullanılan odunun özellikleri,
- Emprenye programı ve emprenye edilmiş malzemenin boyutları,
- Sıcaklık değeri,
- Rutubet miktarı,
- Emprenye işleminden sonra malzemenin çevresindeki hava akışıdır [54].

Ağacın diri odunu öz odunundan yaklaşık bin kat daha geçirgen bir yapıya sahiptir. Sert ve yumuşak odunların içyapılarının farklılıkları, emprenye maddelerinin nüfuz hareketini de etkilemektedir. Buna göre, sert odunların emprenye edilmesi yumuşak odunlara göre daha güçtür [59].

Emprenye uygulanmasında ahşabın hücresel yapısıyla ilgili iki fiziksel durum önemlidir:

- Birincisi, hücrelerde sıkışmış halde bulunan havanın dışarı alınması,
- İkincisi ise sıvıların hücrelerin içerisine nüfuz etmesidir [60].

Günümüz endüstrisinde ahşaba emprenye uygulaması iki şekilde yapılır:

- Basınç içermeyen yöntemler: fırça ile sürme, kazanda daldırma gibi basit uygulamalardır.
- Basınçlı yöntemler: kurulu bir ekipmanı gerektirir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Basınçlı emprenye uygulamasına hazırlanmış keresteler [61].

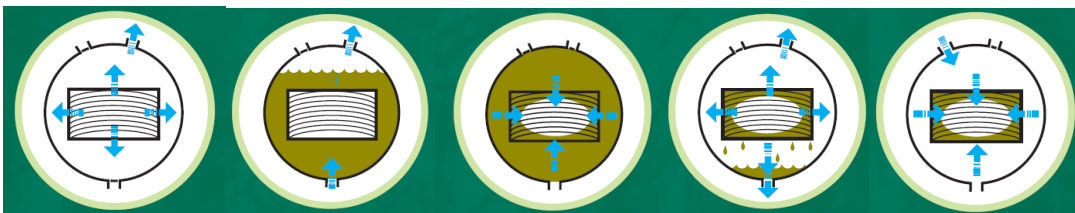


Şekil 3.10 Daldırma ile emprenye uygulanması [61].

Basınç İçermeyen Yöntemler: Emprenye maddesi, fırça ile sürülerek veya püskürtülerek uygulandığı gibi, kimyasal maddenin ağaç malzeme tarafından emilmesi için kazan içine daldırma yöntemleri de uygulanmaktadır (Şekil 3.10) [52]. Ahşaba emdirilen emprenye maddesi 1 m³ ahşap için 15 litrenin altında olmamalıdır [61].

Daldırma süresi ağaç malzemenin türü, kullanılacağı yer ve emprenye maddesine göre değişiklik gösterir. Ahşap malzeme bu işlemten sonra uygun bir şekilde istiflenerek kuruması için en az 24 saat beklemeye bırakılır. Bu süre ahşabın yapısı, emdirilen miktar ve hava şartlarına göre artabilir [61].

Basınçlı Emprenye Yöntemleri: Bu yöntemde emprenye işlemini gerçekleştirmek için, her boyuttaki ağaç malzemenin yerleştirilebildiği çelik bir kazan ile vakum-basınç (Şekil 3.11) uygulanabilen özel bir tesis kullanılmaktadır. Basınçlı emprenye yöntemleri dolu ve boş hücre yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılır [52].



Şekil 3.11 Vakum-basınç yönteminin şematik gösterimi ve aşamaları [61].

3.4 Ön-montaj işlemleri, nakliye ve kurulum

Üretiminin büyük bölümü tamamlanan ahşap elemanlara, fabrika ortamında yapılması gereken metal birleşim elemanları da monte edilir (Ön montaj işlemleri). Şantiye koşullarında yapılması zor ve ekonomik olmayan makas, kolon gibi birleşik yapı elemanları, tesisin ayrı bir bölümünde monte edilir ve nakledilmeye hazır hale getirilir. Ürünün nakliye sırasında ve hatta kullanıma başlayana kadar zarar görmemesi, ortam şartlarından etkilenmemesi ve kirlenmemesi için, paketlenme de fabrika ortamında yapılır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Paketleme işleminin yapılması ve paketlenmiş ürünler [35].

Ahşabın hafif olması, taşımacılıkta önemli avantajlar getirmekle birlikte, uzun yapı elemanlarının taşınması, yardımcı ekipmanları da gündeme getirmektedir (Şekil 3.13). Tek parçada 65 m. uzunlukta elemanların üretiminin yapılabilmesine karşın, genellikle, ülkelerin karayollarında taşıma sınırı 24 m olduğundan, bu büyüklükteki elemanların taşınması deniz yoluyla yapılır [30], [62].



Şekil 3.13 Düz kompozit ahşap elemanların karayolu ile taşınması [62].

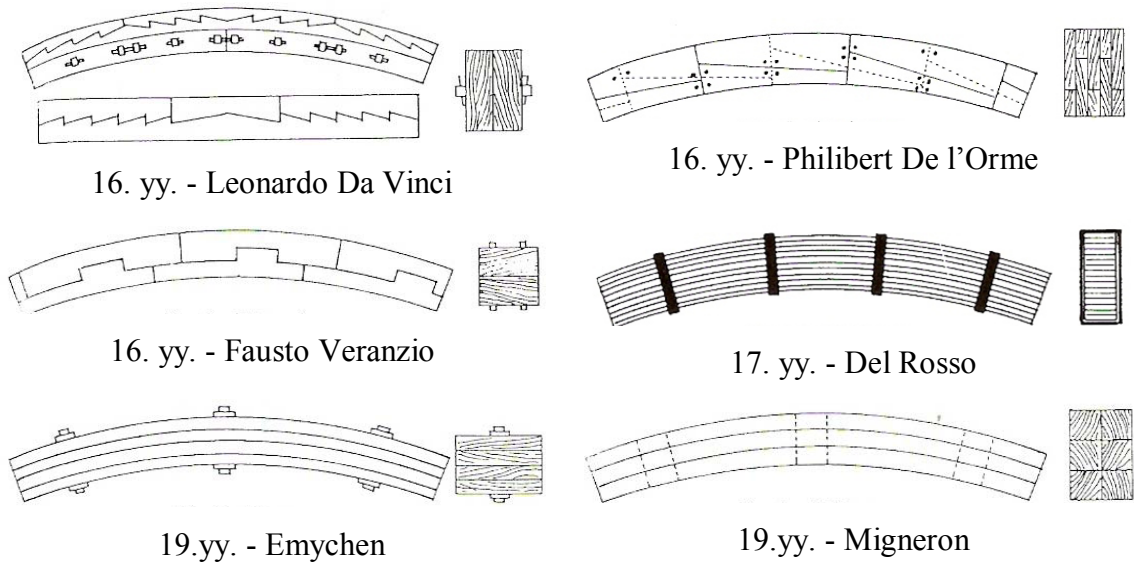
Kompozit ahşap elemanların şantiyede kurulumlarından önce, çelik mesnet elemanları betonarme temele birleştirilir. (Şekil 3.14). Daha sonra, ahşap kompozit eleman plaka bağlantısı ile doğrudan birleştirilir.



Şekil 3.14 Zemin plaka bağlantıları ile elemanların birleşimleri [50].

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLER**4.1 Tarihçe**

Ahşap kompozit yapı teknolojisinin doğuşu 16. yy.a dayanmaktadır. O çağlarda ahşap, doğal ağaç gövdesinin şekillendirilmesi ile kullanılmaktaydı. Bu konuda ilk çalışmaları, Leonardo Da Vinci, Philiber Delorme ve Fausto Veranzio yapmıştır. Da Vinci, ahşap kütüklerin kenarlarının dişlendirilerek dilimlenmesi, kamalarla birbirine bağlanması veya üst üste yapıştırılması ile birleşik kesit kavramını geliştirmiştir. Daha sonraları, ahşap tabakaların birleşiminde metal levha ve çiviler kullanılmıştır (Şekil 4.1) [15], [63].

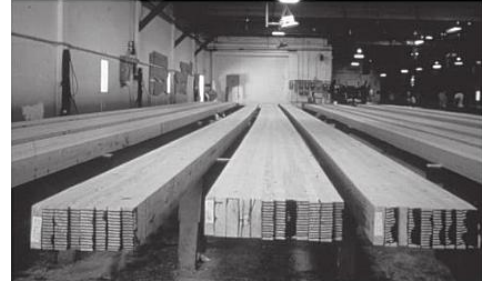


Şekil 4.1 Tabakalı ahşap teknolojisinin tarih içindeki aşamaları [63].

Ahşap kompozitler, 1893’de İsviçreli mühendis Otto Hetzer (1846-1911) tarafından teknolojik anlamda yeniden ele alınmıştır. Hetzer, bugünkü uygulamalara çok benzer şekilde, 5x20 cm enkesitli, 1.5-5.0 m uzunluğunda kesilmiş ahşap elemanları, uçlarını “kurtağzı” şeklinde keserek, uç uca ve üst üste kazein bazlı tutkal ile yapıştırmış, önceden formu tasarlanmış taşıyıcı ahşap yapı elemanlarını üretmiş ve ilk örnek yapısını İsviçre’de (1901), ikincisini Almanya’da (1906) yapmıştır. 1906’da bu sisteme ait patentini alarak bir tesis kurmuştur. 1907-1930 döneminde tabakalı ahşap teknolojisi Avusturya, Belçika, Macaristan, İngiltere ve Danimar-ka’da kullanılmaya başlamıştır (Şekil 4.2). Masif ahşaptan çok daha üstün olması, çelik veya betonarmeye göre ekonomik olması nedeniyle, 20.yy’ın başlarında 45 m’ye varan açıklık geçebilen ≈300 yapı inşa edilmiştir [30]. Otto Hetzer ile 1906’dan beri çalışan ve bu teknolojiyi çok iyi bilen Alman mühendis-mimar Max Hanisch (1882-1950), 1923 yılında A.B.D- Wisconsin’e göç etmiş, bu teknolojiyi Amerika’da yaymıştır (Şekil 4.3). İlk örnekleri, 1934 (Şekil 4.4) ve 1936 (Şekil 4.5)’da Wisconsin’de lise için kapalı spor yapıları olmuştur [34], [64]). Kısa zamanda sivil ve askeri yapılarda, kilise inşaatlarında, köprülerde ve uçak hangarı yapılarında kullanılmaya başlanmıştır.



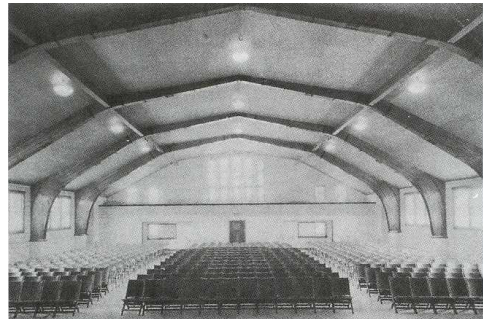
Şekil 4.2 Hala kullanılan tabakalı ahşap kemer, 1916, Copenhagen [65].



Şekil 4.3 Hanisch tarafından ABD’de üretilen ilk tabakalı ahşap kirişler [64].



Şekil 4.4 Wisconsin, 1934, Peshtigo Lisesi Gymnasium salonu.

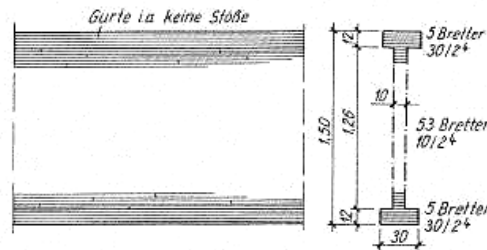


Şekil 4.5 Wisconsin, 1936, kapalı spor salonu [66].

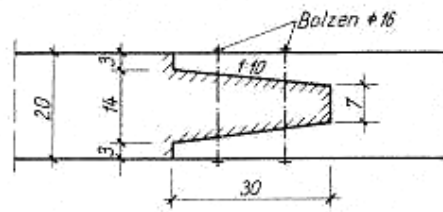
Sanayileşmenin önem kazanması, 2. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında çeliğin değerli bir silah hammaddesi haline gelmesi, ahşabın farklı işlevli yapılarda yapısal kullanım zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. O dönemde kullanılan kazein tutkalının her türlü hava koşuluna uygun olmayışı, bu gelişmeyi yavaşlatmıştır. 1940'ların ortalarından itibaren suya dayanıklı sentetik reçineli yapıştırıcıların kullanılmaya başlaması, tutkallı tabakalanmış ahşabın, köprülerde ve farklı tür taşıyıcı sistemlerde kullanılmasına olanak sağlamıştır.

“Hetzer kirişi” olarak bilinen bu sistem, 20.yy’ın ikinci yarısından itibaren “Glulam-*Glued Laminated Timber*” adıyla anılmaya başlamıştır. Günümüze dek ahşap kesim teknolojilerinin gelişmesi, parmak geçme sisteminin geliştirilmesi; ayrıca modern ahşap işleme makinelerinin (CNC) üretilmesiyle birlikte, farklı tip ahşap kompozit elemanlar da üretilmektedir [30].

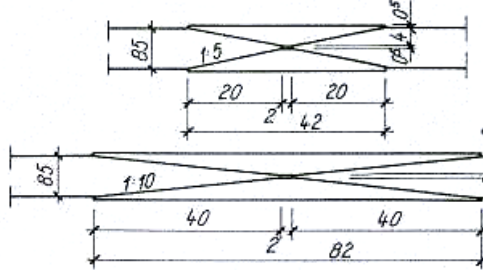
Tabakalı ahşap teknolojisi özellikle Almanya’da gelişmiş ve burada çok sayıda yapı örneği inşa edilmiştir. Tabakalı ahşap elemanlarda kullanılan uç birleştirmeleri (Şekil 4.6) ve yapılarda kullanılan tutkallı ahşap kesitleri (Çizelge 4.1) zaman içinde farklılaşmış, günümüzde kullandığımız haline gelmiştir.



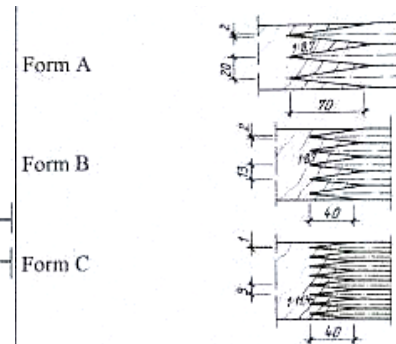
Hetzer-konstrüksiyonu



Christoph & Unmak kiriş birleşimi



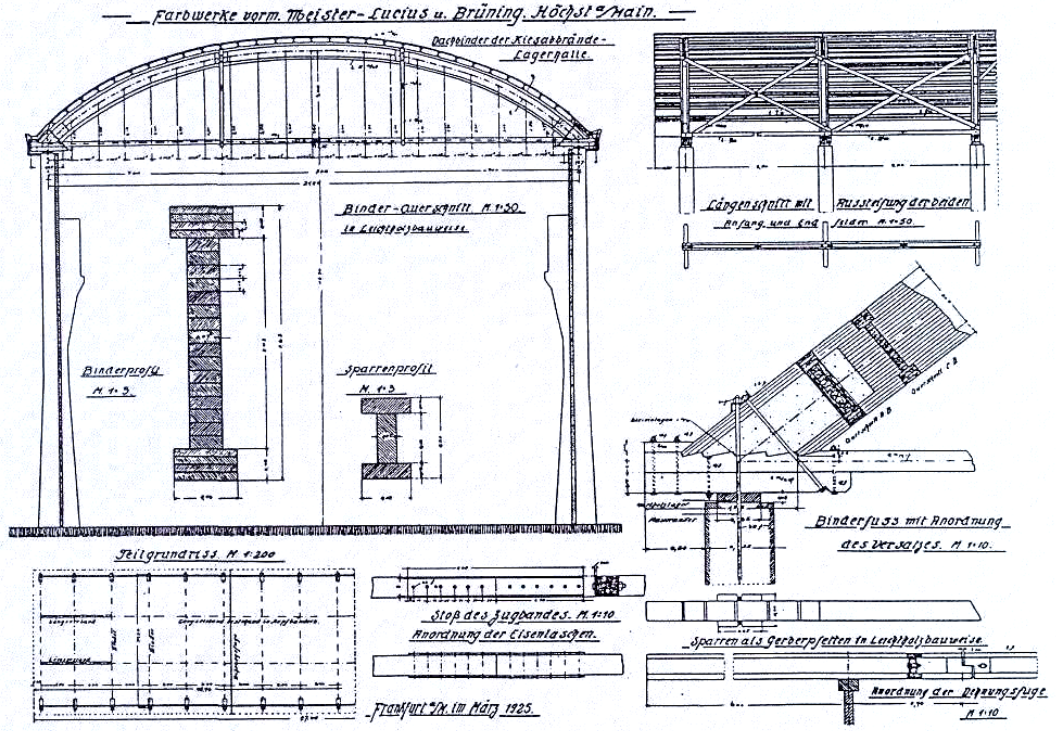
Graf & Egner kiriş birleşimi



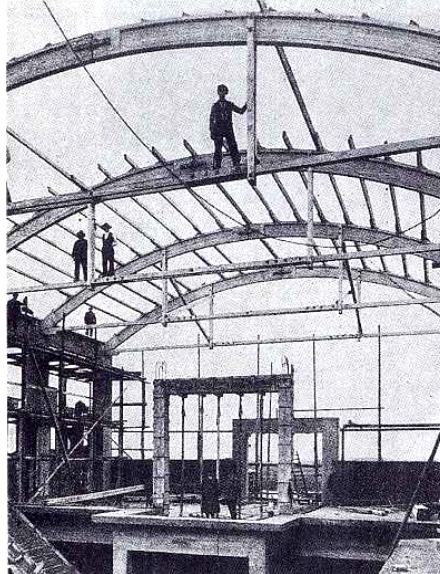
Günümüzde kullanılan parmak-geçme birleşimi

Şekil 4.6 Tabakalı ahşap teknolojisinin gelişmesinde çok önemli olan parmak-geçme sisteminin tarihsel gelişimi [66].

Çizelge 4.1 Tabakalı ahşap eleman kesitlerindeki gelişimler [66].



A: Frankfurt, Main'da bir kumaş fabrikası için tasarlanan 21.2m açıklık geçen iki mafsallı kemer uygulamasının teknik el çizimi, 1925-Mart.



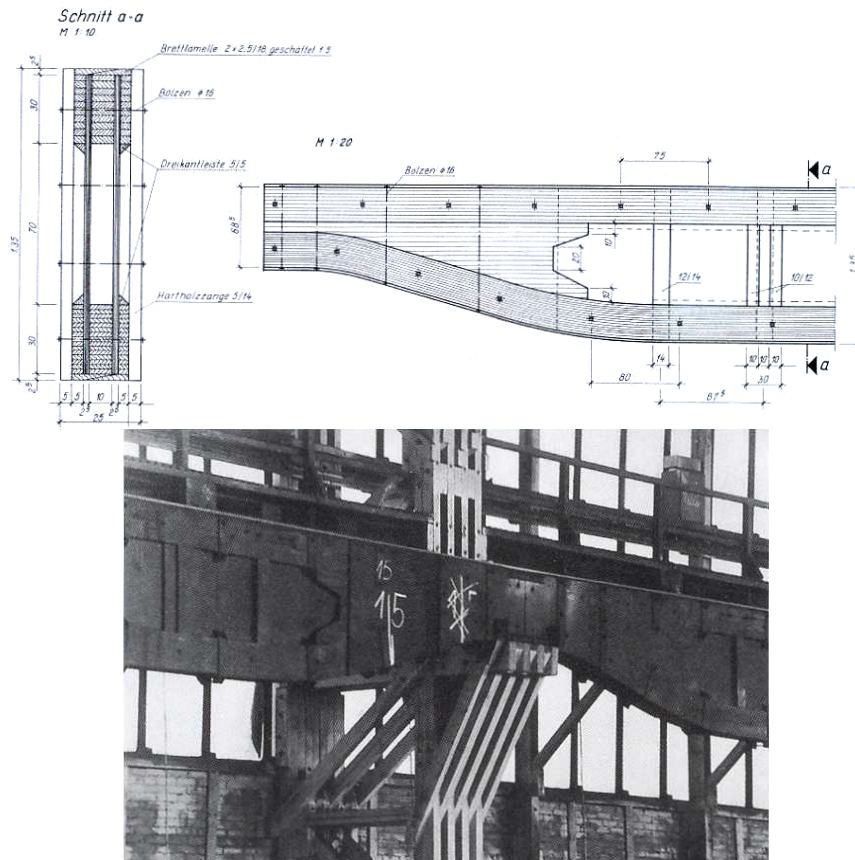
B: Gross-Gerau'da fabrika için üç mafsallı kemer uygulaması

Technical drawing of a roof truss (Dachstuhl) showing the internal structure with various beams, supports, and dimensions. The drawing includes labels for different parts like 'Dachstuhl', 'Zwischendach', 'Dachstuhl mit', and 'Dachstuhl'. Dimensions are given in meters (m) and centimeters (cm). The drawing is a side elevation showing the truss structure with various beams and supports. Key dimensions include a total width of 19.50m, a height of 2.5m, and various internal dimensions like 1.80m, 2.00m, and 2.20m. The drawing also shows the roof pitch and the placement of various structural elements like rafters and bracing.

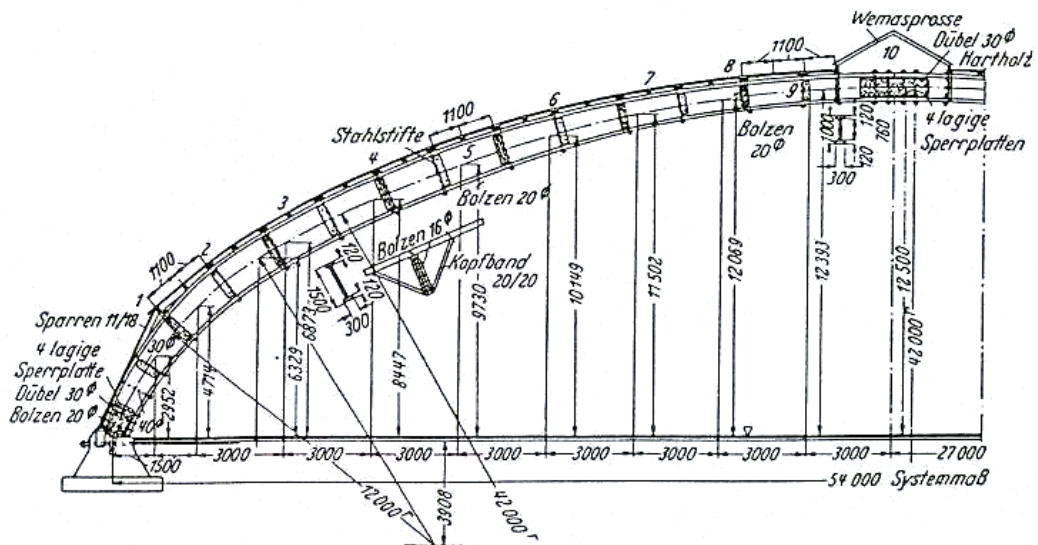
[illegible]

42

Çizelge 4.1 Tabakalı ahşap eleman kesitlerindeki gelişimler [66] (devam).

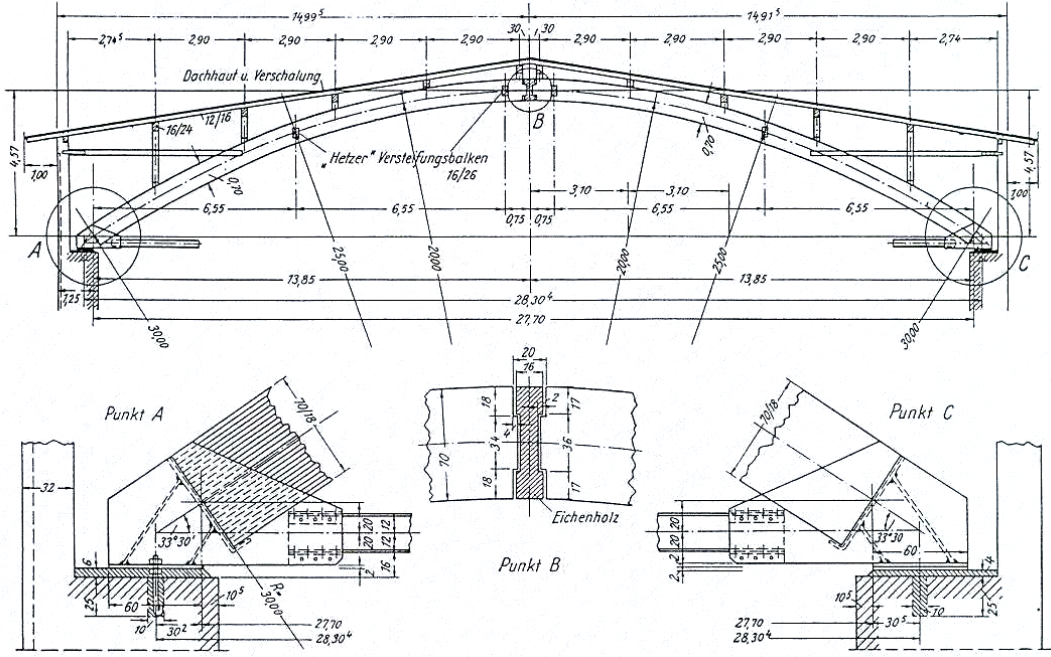


G: Christoph & Unmak Comp. tarafından 1938 yılında tasarlanmış olan bir tren yolu köprüsü.



H: Doesburg’da bir tuz deposu için uygulanmış 54 m açıklık geçen bir kemer örneği.
Christoph & Unmak Comp. Tarafından 1941 yılında tasarlanmıştır.

Çizelge 4.1 Tabakalı ahşap eleman kesitlerindeki gelişimler [66] (devam).



I: İsviçre, Biel’de, 27 m açıklık geçen tabakalı ahşap kemerler kullanılarak inşa edilmiş bir depo yapısı.



J: İsveç, Malmö’de tren istasyonu için tabakalı ahşap kemer uygulaması, 1925 [67].

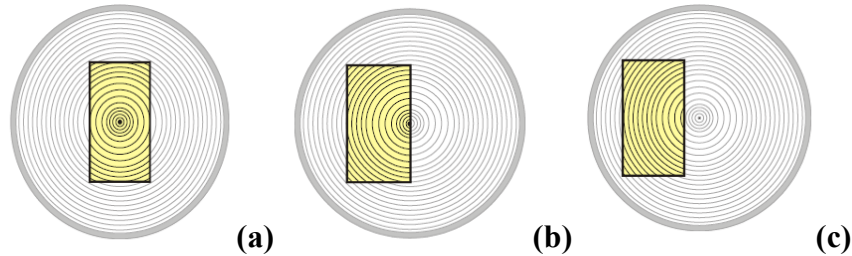
4.2 Tabakalı Tutkallı Ahşap – Glulam (*Glued Laminated Timber*)

4.2.1 Genel

TS EN 387 (2003)'de, odun lamellerin özellikle lifleri paralel olarak birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak, tüm ağaç türleri bu teknikte üretim için uygun olsa da, pratik açıdan, sert ağaçların işlenmesi ve tutkal tutma kabiliyetinin az olmasından dolayı, yumuşak ağaç türleri, özellikle çam ağacı tercih edilir¹. Tabaka uzunluğu 1.5-5 m aralığında olup, tabaka kalınlığı ise; düz kompozit eleman üretiminde 40-50 mm, eğrisel eleman üretiminde ise 20-30 mm olarak uygulanır. Elemanlar 16-20 m uzunlukta üretilebilmektedir [1], [68].

4.2.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları

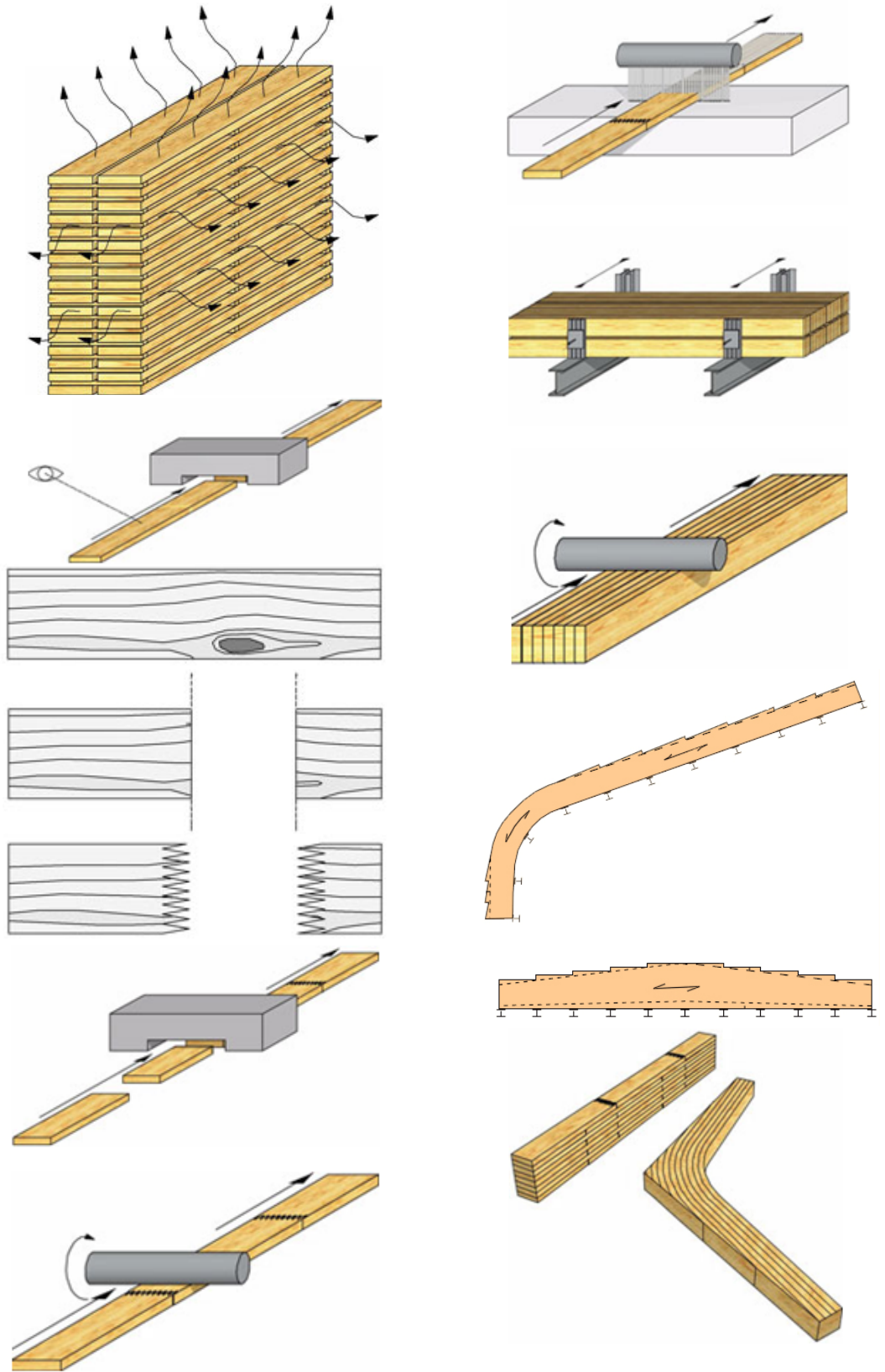
Tabakalı tutkallı ahşap üretiminde, gerekli dayanıma ve boyutlara göre üretim yapılır. Bunun için, uygun dayanım sınıfındaki keresteler kullanılır. Bunlar aynı ağaçtan olabileceği gibi, aynı dayanımdaki farklı ağaçlardan da olabilir. Laminasyon uygulamasında keresteler için uygun nem oranı %10-12'dir [68], lamine edilmiş tabakalar arasındaki nem farkı ise en fazla %5 olmalıdır [34]. Tabakaların lif düzenleri de fiziksel değişimlerinde etkilidir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tabakaların lif düzenlerine göre fiziksel değişimleri: (a) değişim çok fazla, (b) değişim fazla ve (c) değişim sınır değerlerde (normal) [69].

Uygun şekilde seçilen ve düzenlenen tabakalar önce uç uca, sonra üst üste parmakgeçme yöntemi ile tutkallar yardımıyla birleştirilir. Eleman, tasarlanmış şekline göre preslenir ve daha sonra yüzeyi temizlenerek, hazır hale getirilir. Tabakalı tutkallı ahşap elemanların tam üretim akışı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

¹ Amerika'da Douglas köknarı veya Güney çamı; Avrupa'da karaçam ve ladin; Japonya'da daha çok yerel ağaç türleri tercih edilmektedir.

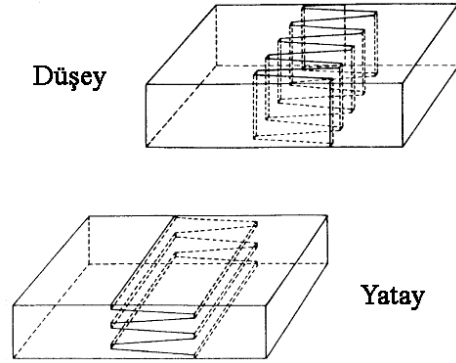


Şekil 4.8 Glulam elemanların üretim akış şeması [70].

4.2.2.1 Parmak-geçme birleşimi (*finger joint*)

Ahşabın doğal boyundan çok daha uzun yapı elemanları üretilmek için kullanılan birleştirme yöntemi, tabakanın uç bölümlerinde de eşdeğer dayanım sağlayan ve ağacın boyuna yöndeki boyut stabilitesini koruyan *parmak-geçme birleşimidir*. Parmak geçme birleşiminin etkinliğini enkesite göre durumu belirler (Şekil 4.9). Çünkü,

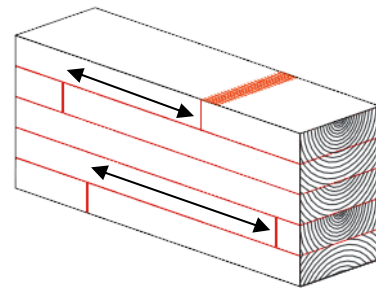
- Yatay parmak geçme birleşiminde, en dışta kalan dişler, gelen yükün çoğunu karşılayan dişlerdir ve birleşimin etkinliği çok önemlidir.
- Düşey parmak geçme birleşiminde ise, gelen yükler, tüm birleşim hattında daha dengeli dağılmaktadır ve kritik noktalar oluşmamaktadır [71].



Şekil 4.9 Birleşimin düşey veya yatay doğrultuda uygulanması [71].

Tabaka uçlarında parmak-geçme birleşimi için yapılan kesimlerde, açı, uzunluk ve derinlik değerleri firmadan firmaya farklı olup, bıçaklı dişliler kullanılır. Birleşimin düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken özellikler şunlardır:

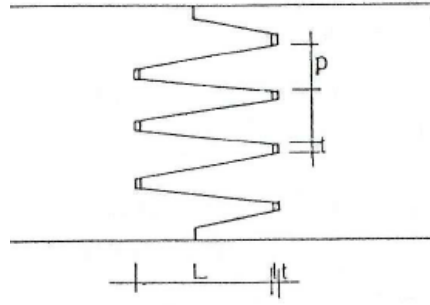
- Ek yerleri, katlar arasında şaşırtmalı biçimde, en az 30-50 cm aralık olacak şekilde, düzenlenmelidir (Şekil 4.10).
- Diş boyu (l), diş ucu genişliği (t) ve diş dibi genişliğine (p) göre liflere paralel çekme ve eğilme, liflere dik basınç dayanım etkinliği Çizelge 4.2'de verilmiştir¹ [72].



Şekil 4.10 Parmak-geçme mesafeleri.

¹BS 5268: Structural use of timber.

Çizelge 4.2 Parmak-geçme yönteminde etkili değerler ve mekanik verimleri [72].



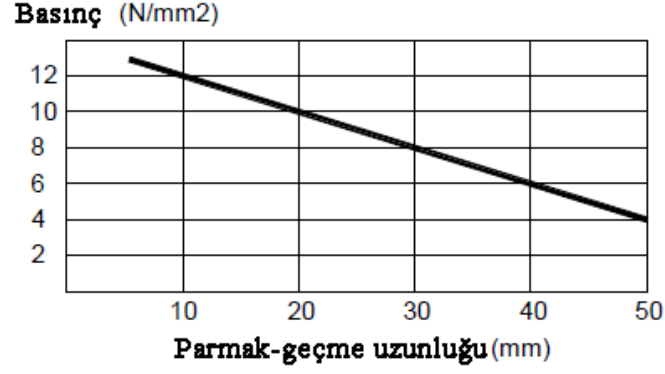
Parmak-geçme birleşiminin parametreleri [63].

Parmak profili (mm)			Etkinlik oranı (%)	
Boy (l)	Diş genişliği (p)	Diş ucu genişliği (t)	Liflere paralel çekme ve eğilme	Liflere paralel basınç
55	12.5	1.5	75	88
50	12	2	75	83
40	9	1	65	89
32	6.2	0.5	75	92
30	6.5	1.5	55	77
30	11	2.7	50	75
20	6.2	1	65	84
15	3.8	0.5	75	87
12.5	4	0.7	65	82
12.5	3	0.5	65	83
10	3.7	0.6	65	84
10	3.8	0.6	65	84
7.5	2.5	0.2	65	92

Uçlarda parmak-geçme kesimi tamamlandığında, en geç 24 saat içinde yapıştırma ve presleme işlemlerinin yapılması gereklidir. Bir presleme süresi 2 sn'den az olmamalıdır. Ancak, bu süre;

- parmak geçme birleşim profiline,
- kullanılan ağaç türüne,
- ahşabın nem oranına
- tabakaların en kesitlerine

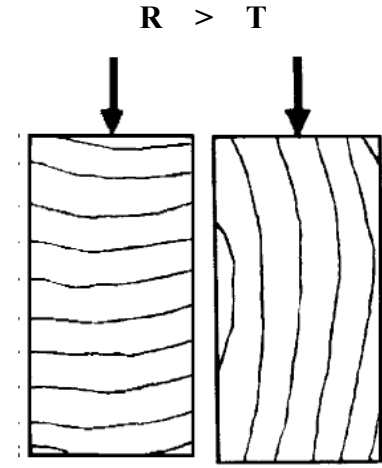
göre değişmektedir. Şekil 4.11'te, 20⁰ C da, parmak geçme birleşiminin uzunluğuna bağlı olarak uygulanan presleme değerleri verilmiştir [73].



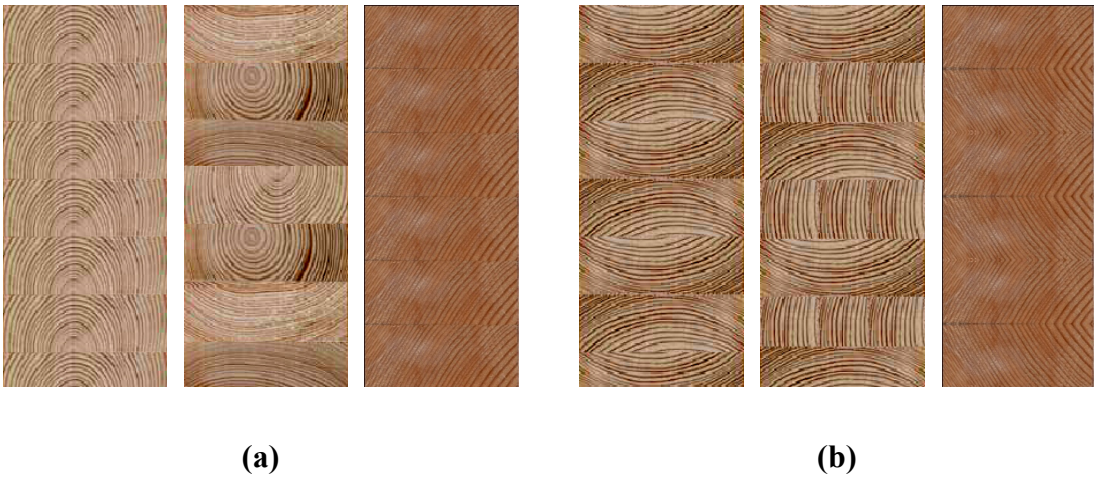
Şekil 4.11 20°C da, birleşimin uzunluğuna bağlı olarak uygulanması gereken basınç miktarı [73].

4.2.2.2 Tabakaların düzenlenmesi

Glulam eleman üretiminde, Şekil 4.12'deki gibi alınan kesitlerde, liflere (yıllık halkalara) dik yönde gelen (T) kuvvetlere karşı dayanım; liflere (yıllık halkalara) paralel yönde (R) gelen kuvvetlere karşı dayanımdan azdır [74]. Lamine eleman tabakalarının sıralanmasının ayrıca, tabakaların ortam şartlarından farklı derecelerde etkilenmeyecek, dolayısıyla elemanın boyutsal stabilitesini olumsuz etkile-meyecek şekilde seçilmesi gereklidir [15]. Bir glulam elemanda olumlu ve olumsuz laminasyonlar Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Yıllık halkaların dayanım şekli [74].

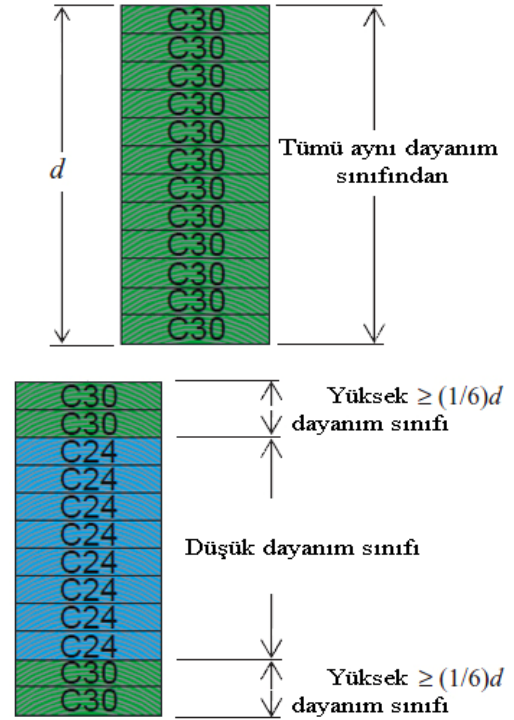


Şekil 4.13 Tabakaların liflerine göre; (a) Olumsuz, (b) Olumlu sıralanmaları.

Standartlarda¹, düz elemanların üretiminde tabaka kalınlığı, iğne yapraklı ağaçlar için 45 mm, geniş yapraklı ağaçlar için 40 mm olarak verilmiştir [73].

Glulam elemanlar, yapılan statik hesaplara göre, homojen tabakalardan veya kombine tabakalardan oluşturulabilir (Şekil 4.14):

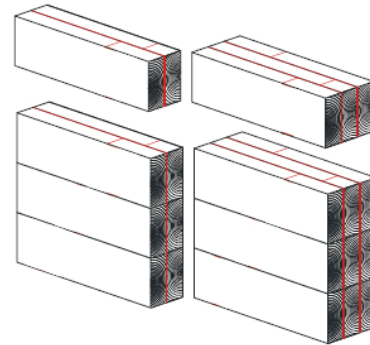
- Homojen tabakalı glulam elemanlar: Aynı dayanım sınıfından olan farklı ağaç türlerinden oluşturulabildiği gibi, aynı ağaç türünden de üretilebilir, dayanım değerleri standartlaşmıştır.
- Kombine tabakalı glulam elemanlar: Dayanım değerleri farklı olan iç ve dış tabakaları vardır. Dış tabakalar, eğilme momentine karşı iç tabakalara göre daha yüksek dayanım sınıfından olan kerestelerden oluşturulur. Kullanılan ağaç türleri farklı olabilir. Bu tip elemanlarda, yüksek dayanımlı tabaka en az '*eleman yüksekliği/6*' oranına göre düzenlenmelidir [1].



Şekil 4.14 Homojen tabakalı ve Simetrik kombine tabakalı glulam elemanlar [69].

Glulam elemanların üretiminde bir diğer farklılık da tabakaların yatay veya düşey düzenlenmesidir (Şekil 4.15):

- Düşey tabakalı glulam elemanlar yaygın bir kullanım alanına sahip değildir.
- Yatay tabakalı glulam elemanlar, üretim kolaylığı ve farklı statik hesaplara göre daha kolay adapte edilebildiğinden, daha çok tercih edilir.



Şekil 4.15 Düşey tabakalama.

¹ EN 386: Glued Laminated Timber- Performance requirements and minimum production requirements.

Düşey tabakalı glulam elemanlar, ticari alanda, iki tabakalı ise *Duolam*, üç tabakalı ise *Triolam* olarak bilinir. Kimyasal maddelerin etkimeyeceği alanlarda kullanılmaları önerilir. Üretimlerinde çoğunlukla ladin ağacı tercih edilir. Yüzeyleri daha az budaklı bir görünüme sahiptir [75].

4.2.3 Mekanik Büyüklükler

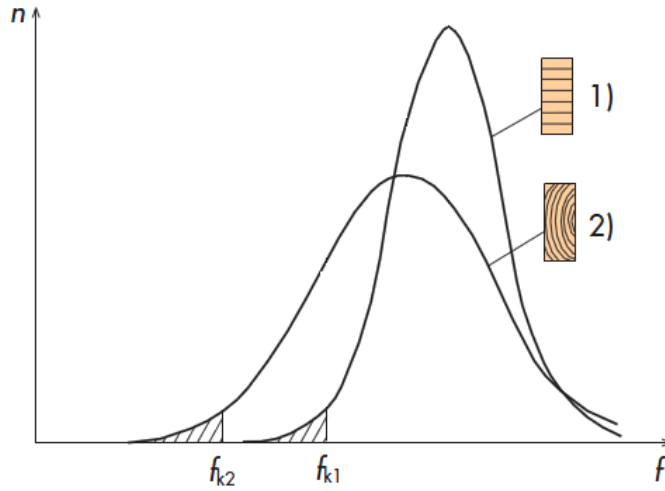
Glulam elemanların üretiminde, tabakaların dayanımları, elemanın kendi dayanım sınıfını belirlemektedir. En sık kullanılan glulam sınıfları ve kullanılan tabakaların dayanımları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Homojen tabakalı olanlar (h) ile, kombine tabakalı olanlar (c) ile tanımlanmıştır [1].

Çizelge 4.3 En sık kullanılan glulam elemanların mekanik dayanım değerleri [1].

	Homojen katmanlı glulam kiriş			Kombine katmanlı glulam kiriş		
Dayanım sınıfları	GL24h	GL28h	GL32h	GL24c	GL28c	GL32c
f_b (N/mm ²)	24	28	32	24	28	32
$f_{/t}$ (N/mm ²)	16.5	19.5	22.5	14	16.5	19.5
$f_{\perp t}$ (N/mm ²)	0.4	0.45	0.5	0.35	0.4	0.45
$f_{/c}$ (N/mm ²)	24	26.5	29	21	24	26.5
$f_{\perp c}$ (N/mm ²)	2.7	3.0	3.3	2.4	2.7	3.0
f_v (N/mm ²)	2.7	3.2	3.8	2.2	2.7	3.2
$E_{//}$ (kN/mm ²)	9.4	10.2	11.1	9.4	10.2	11.1
$E_{\perp}$ (kN/mm ²)	0.39	0.42	0.46	0.32	0.39	0.42
G (kN/mm ²)	0.72	0.78	0.85	0.59	0.72	0.78
ρ (kg/m ³)	380	410	430	350	380	410

Yumuşak odundan üretilen 550 x 135 mm. enkesitli bir glulam kiriş, 305 x 165 mm. enkesitli bir çelik I-kiriş ile aynı mekanik performansı gösterir ama aynı zamanda, üretim sırasında, çeliğe göre 1/6 kadar enerji harcaması gerektirir. Aynı şekilde, 400x250 mm. enkesitli bir takviyeli betonarme kiriş için, 5 kat daha fazla enerji harcaması gereklidir [76].

Glulam elemanların bir tabakasının eğilmede çekme dayanımının, tüm elemanınkine (Şekil 4.16) oranı (f_m / f_t), laminasyon etkisi (k_{lam}) olarak tanımlanır ve mühendislik hesaplarında bu katsayı kullanılır [68].

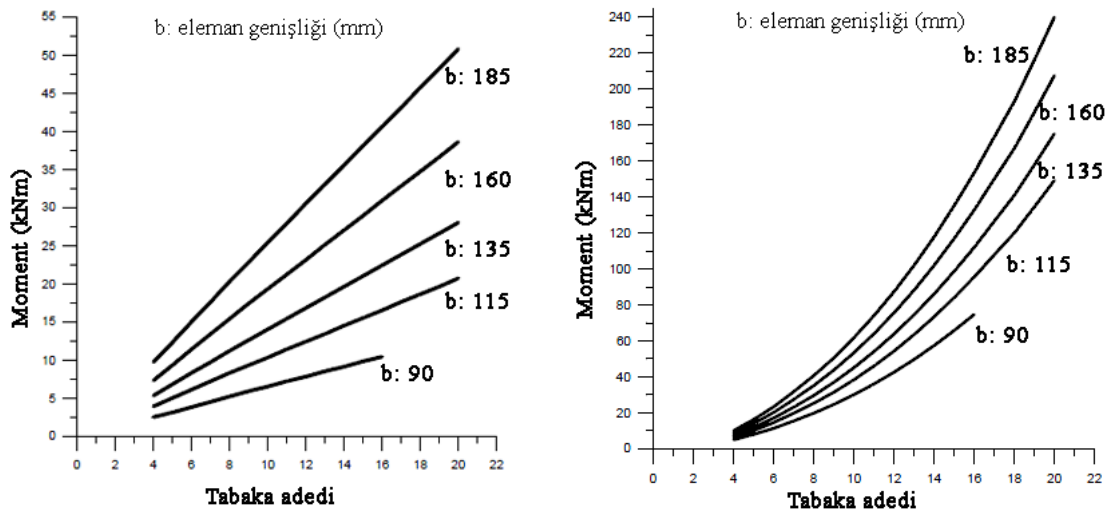


Şekil 4.16 Glulam elemanlarda, tabakalamanın etkisiyle dayanım, masif ahşaba göre daha fazladır [77].

Glulam elemanların çok büyük boyutlarda üretilebilmesine bağlı olarak, boyut etkisini içeren (k_h) katsayısı hesaplamalarda yer alır ve aşağıda verilen formül ile hesaplanır. Buna göre, 600 mm'den daha az kalınlıktaki glulam elemanlar eğilme ve çekme dayanımları açısından daha uygundur [1]:

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{c} (600/h)^{0.1} \\ 1.1 \end{array} \right\}$$

Yatay ve düşey tabakalama, glulam elemanın dayanım değerlerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Örneğin, C24 dayanımındaki ahşap tabakalardan oluşturulmuş elemanların eğilme dayanımları karşılaştırılmış (Şekil 4.17) ve sonuç olarak, yatay tabakalı glulam elemanlar, daha fazla eğilme kabiliyeti göstermiştir [72].



Şekil 4.17 Düşey ve yatay tabakalı glulam elemanların eğilme dayanım değerleri.

4.3 LVL- Lamine Kaplama Kereste (*Laminated Veneer Lumber*)

4.3.1 Genel

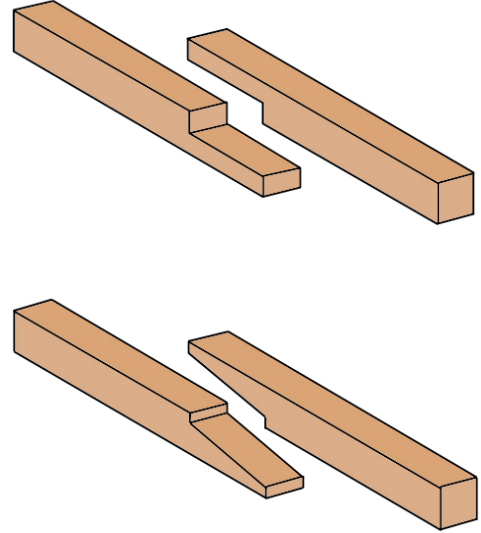
İlk defa 1969'da Truss Joist Corp. tarafından üretilmiş olup [78], üniform özellikleri ve farklı boyutlarda imalatı nedeniyle, özellikle geniş açıklıklı yapılarda, son 25 yıldan beri önemli bir kullanım alanı bulmuştur [79]. LVL elemanlar ile 24 m'ye varan açıklıklar geçilebilir [80]. Dış ortam koşullarına dayanıklı tutkallar kullanılır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 LVL elemanın en kesit görünümü [81].

4.3.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları

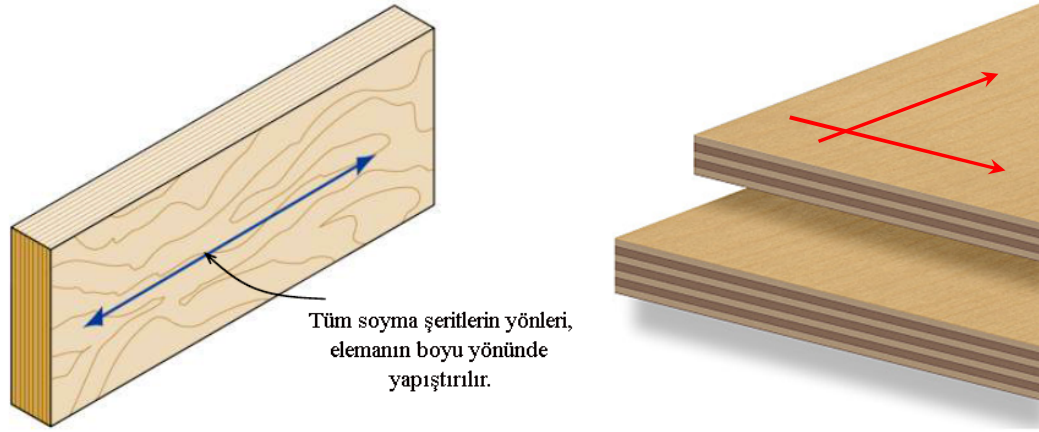
LVL elemanların üretimi, kontrplak¹ (*plywood*) üretimi ile aynıdır; tek fark, tabaka liflerinin, elemanın boyuna paralel gelecek şekilde düzenlenmesidir (Şekil 4.20). LVL üretiminde tomruktan, masif ahşap olarak kullanıma göre %30 daha fazla verim alınır [78]. Tabaka kalınlığı 2.5-4 mm, boyu 2 m olacak şekilde kesilir. Yaş kaplamalar fırınlarda, nem oranları %5-10 arası oluncaya kadar kurutulur. Seçilen soyma tabakalar tutkallama işlemine tabii tutulur². İstenilen boyda elemanlar üretmek için elemanın her iki ucuna 3 cm uzunlukta pahlı birleşimler uygulanır (Şekil 4.19). Bu birleşimler arasındaki mesafe 10 cm den daha fazla olmalıdır [82], [79].



Şekil 4.19 Tipik LVL elemanı birleşim detayı.

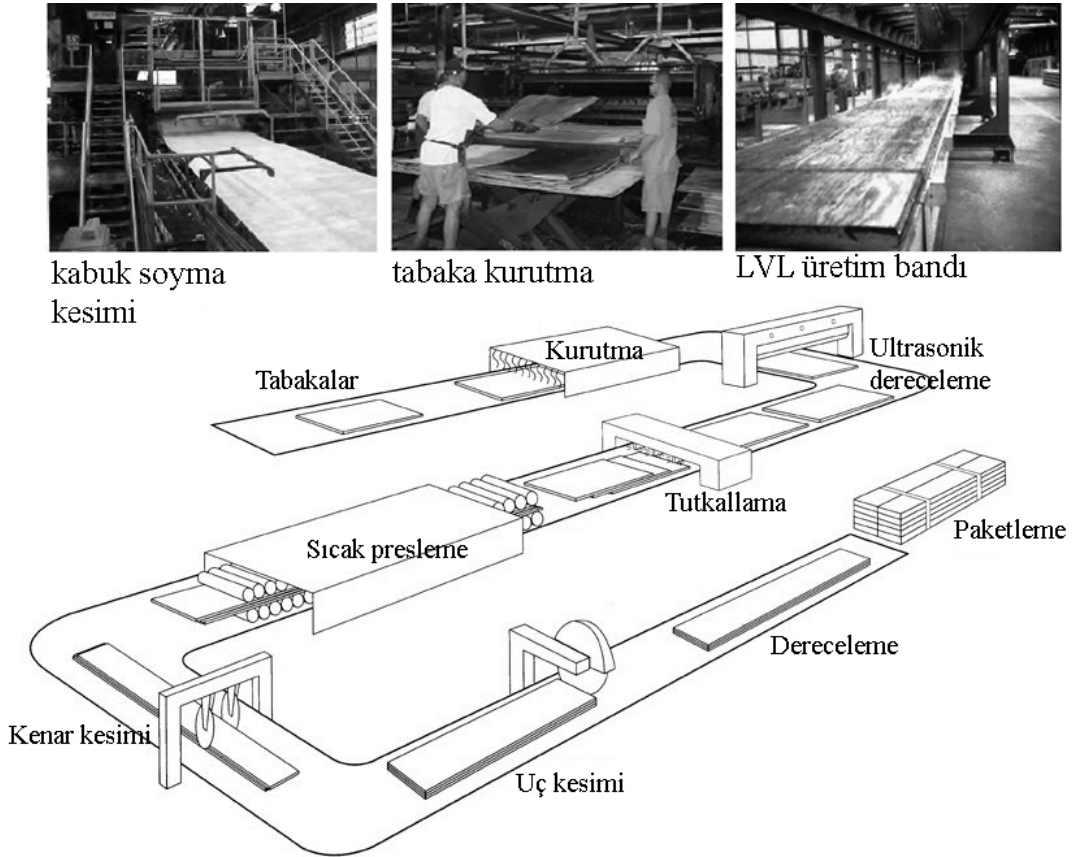
¹Soyma kaplamaların liflerinin birbirine dik gelecek şekilde en az 3 tabaka veya daha fazla tek sayıda tabakanın üst üste konarak preslenmesiyle üretilen, genellikle döşeme kaplaması için kullanılan üründür.

²Yüksek sıcaklığa dayanıklı PF, PRF ve MUF tutkalları tercih edilir.



Şekil 4.20 LVL ile kontrplaklar arasındaki tabakalama farkı [80], [83].

Yapıştırılan tabakalara ortalama 150°C 'de sıcak presleme uygulanır [84], sonra uygun ölçülerde kesilir (Şekil 4.21). LVL üretiminde, çam, köknar ve ladin gibi iğne yapraklı ağaç odunları tercih edilir [79]. Sert ağaç odunundan yapılan LVL elemanlar, yumuşak ağaçtan üretilenler kadar dayanıklı olmadığından, daha çok mobilya ve bağlantı elemanları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 4.21 LVL elemanların üretim akışı [85], [86].

LVL üretimi, hem mühendislik hem de üretim açısından oldukça kolaylık sağlamaktadır.

Üretim açısından;

- Kaplamalar kolay ve ekonomik olarak kurutulabilmektedir.
- Farklı dayanıma sahip tabakalar ile uygun kombinasyonlar oluşturulabilir.
- Çok küçük boyutlardaki ağaç malzemenin kullanımına olanak sağlandığından fire oranını azaltmaktadır.
- Ağaç malzemenin bünyesindeki kusurlardan arındırılarak kullanılmasını sağlar.

Mühendislik açısından ise;

- LVL elemanlar, masif ahşap ve glulam elemanlara göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir.
- LVL aynı cins ağaç malzemeye göre, fiziksel ortamdan daha az etkilenir ve boyutsal bakımdan daha stabildir. Bunun nedeni, LVL'nin katları arasında uygulanan tutkalın su itici özelliği ve daha az boşluklu yapısıdır.

LVL, Kuzey Avrupa ülkelerinde ladin ağacından üretilir¹. Kullanım alanı ve dayanım düzeyine göre üç ayrı ürün tipi mevcuttur [87]:

- S tipi, her açıklıkta ve diğer yapısal ahşap kompozit ürünler ile birlikte kullanılabilen kiriş elemanlarıdır.
- Q tipi, 9-23 tabakanın çaprazlama üst üste getirilip yapıştırılması ile üretilen rijitliği ve eğilme dayanımı yüksek panel elemanlardır (Şekil 4.22).
- T tipi ise, en fazla 12 m uzunlukta üretilen ve daha çok ahşap iskelet sistemlerde kullanılan tali kiriş elemanlardır.



Şekil 4.22 Q tipi panelin uygulanması [87].

¹ Ticari ismi Kerto®'dur. İngiltere'de ise Güney sarıçamı ve Douglas köknarından üretilen LVL elemanlar Versa-Lam® ticari adı ile bilinir.

A.B.D’de genellikle çam ve köknar ağacından üretilir¹. Kolon ve düz kiriş elemanlar oluşturulabilir (Şekil 4.23); ancak eğik kiriş üretilemez. Yayılı yük etkisindeki sürekli kirişlerde kullanımı uygundur [88].



Şekil 4.23 A.B.D’de yaygın kullanılan LSL elemanlar [89], [90].



Şekil 4.24 LVL elemanlardan kurulmuş bir çerçeve sistem [87].

LVL ile kiriş, kolon, makas ve çerçeve sistem elemanları üretilebildiği gibi (Şekil 4.24), oldukça farklı biçim ve büyüklüklerde elemanlar da üretmek mümkündür. Bunun günümüzde en önemli örneği, İspanya’da henüz inşa edilmekte olan “Metropol Parasol” yapısıdır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Metropol Parasol yapısının kurulum aşamasından bir görünüm [91].

¹ Güney Sarıçamı ve Douglas köknarından üretilir. Microllam®, Versalam®, Rigidlam® gibi farklı ticari isimleri vardır.

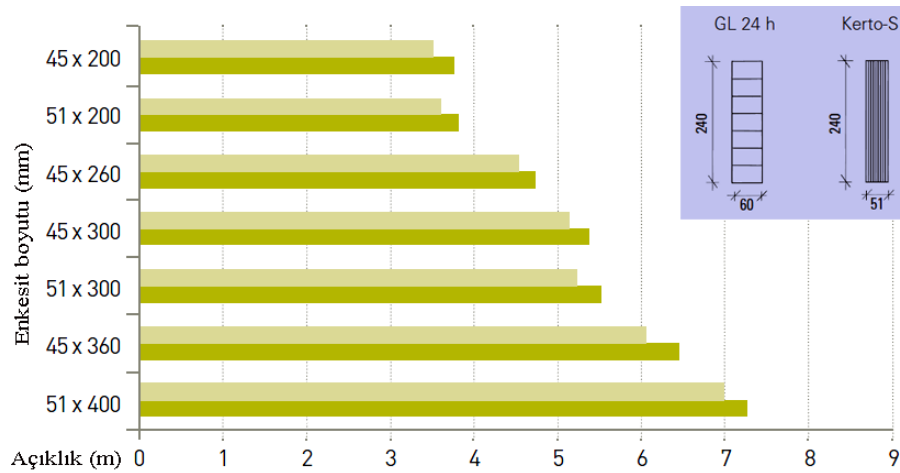
4.3.3 Mekanik Büyüklükler

LVL elemanların, ülkeden ülkeye farklı niteliklerde üretilmesi, dayanım değerlerini de etkilemektedir. Bu nedenle, LVL eleman tercih edildiğinde, mühendislik hesapları açısından, üretici firmadan net dayanım bilgilerinin elde edilmesi önerilir. Çizelge 4.4’da farklı isimler altında üretilen LVL elemanların dayanım sınıflarına göre mekanik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 İki farklı LVL üreticisinin verdiği dayanım değerleri [88], [92].

Derecesi	$f_{//t}$	f_b	$f_{//c}$	$f_{\perp c}$	$f_{\perp v}$	MOE
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)
1.5E¹	15.98	28.67	21.46	7.22	2.82	10.34
1.6E²	15.80	27.25	23.10	9.40	3.65	11.03
1.8E¹	18.11	33.13	26.41	8.79	3.59	12.41
1.9E²	19.80	33.15	27.60	9.40	3.65	13.10
2.0E¹	20.25	36.95	30.26	9.41	3.59	13.79
2.2E²	23.75	39.00	31.60	9.40	3.65	15.17
2.4E²	26.45	42.90	33.90	9.40	3.65	16.55
2.6E²	29.15	46.80	36.00	9.40	3.65	17.92

Bir başka üretici tarafından geçilecek açıklık için gerekli LVL kiriş yüksekliği Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Buna göre, dikine ve %15 daha küçük genişlikli LVL elemanlar, glulam elemanlar ile aynı dayanımı göstermektedir.



Şekil 4.26 LVL kiriş elemanların, 4 m aks aralığı ile yerleştirilmeleri durumunda enkesit boyutlarına göre açıklık değerleri [87].

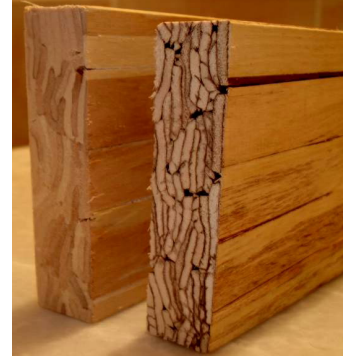
¹Rigidlam® için verilen değer.

²Microllam® için verilen değerler.

4.4 Paralel Şerit Kereste (*Parallel Strand Lumber*)

4.4.1 Genel

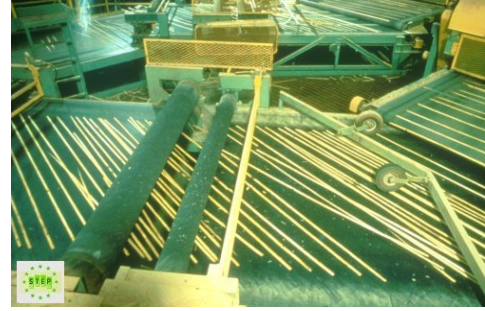
1970’lerde Trus Joist MacMillan tarafından geliştirilmiş olup, gövde çapı küçük olan veya düşük kaliteli keresteyi güçlü keresteye dönüştürebilme amacıyla üretilmiştir¹ (Şekil 4.27) [93]. PSL elemanlarda, normal kerestede görülen budak ve lif kıvrıklığı gibi kusurlara çok az rastlanır. Diğer ahşap kompozitlere göre yoğunluğu, dayanımı ve rijitliği daha fazladır [80]. Ağır ahşap yapı projelerinde tercih edilir².



Şekil 4.27
PSL elemanın kesit
görünümü [93].

4.4.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları

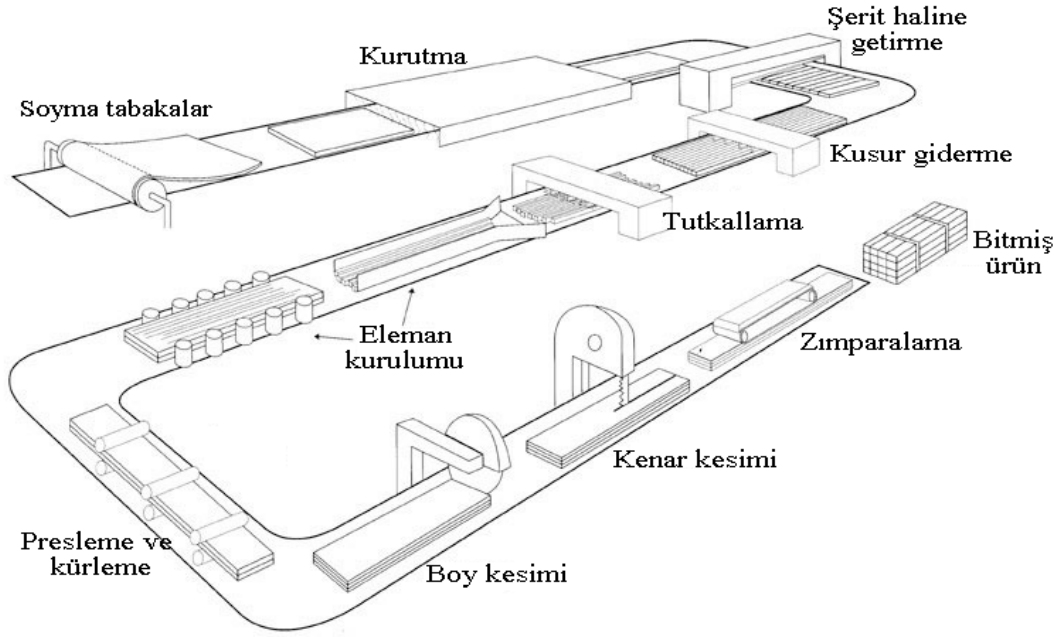
Üretiminde seçilmiş ağaç kütükler kullanılabilmesi gibi, kontraplak ve LVL üretiminden arta kalan malzemelerden de yararlanılabilir [95]. Kabuk soyma yöntemi ile elde edilen tabakalar %4-6 rutubet miktarına gelinceye kadar kurutulur [93]. Boyları en az 0.6 m, genişlikleri 19-24 mm olacak şekilde şeritler halinde kesilir (Şekil 4.28) [96]. PSL, bu şeritlerin aynı yönde, suya ve dış ortam şartlarına dayanıklı termoset tutkallar ile yapıştırılmasıyla üretilir. Tutkallama işleminin sona eren elemanlar preslenir, ürün boyutlandırılır ve emprenye uygulanır. PSL elemanların uzunluğu 20 m’ye kadar ulaşabilir [97]. PSL üretim akışı Şekil 4.29’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28
PSL şeritlerinin kesilmesi ve
şekillendirilip preslenmesi [97].

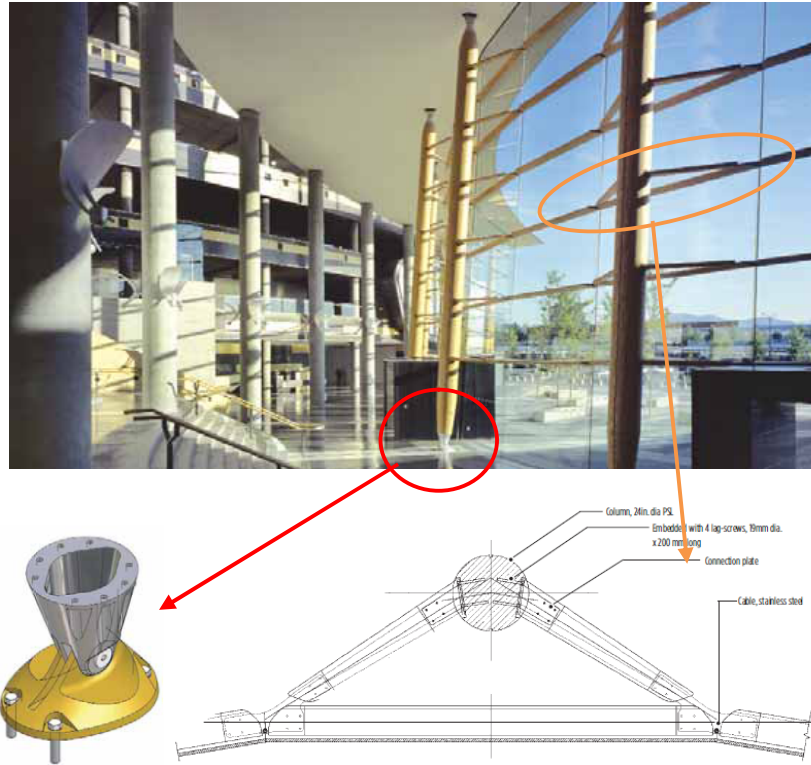
¹PSL üretiminde düşük veya yüksek dayanımlı birçok ağaç türü kullanılabilmesine karşın, günümüzde ABD’de Douglas Göknarı, Güney Çamı (32), Batı Baldıran ağacı, Sarı kavak [93], Batı Tsugası ve Lale Ağacı [94] tercih edilmektedir.

²Lisanslı ürün ismi Parallam®’dir.



Şekil 4.29 PSL elemanların üretim akışı [85].

PSL kolon ve kiriş elemanlar ile geleneksel ağır ahşap yapılar oluşturulabildiği gibi, Şekil 4.30'da gösterilen cephe taşıyan modern sistemler de kurmak mümkündür. Yapıda, 14 m uzunlukta ve 60 cm çaplı dairesel kolonlar kullanılmıştır.



Şekil 4.30 Yapıda PSL elemanlarla kurulan cephe sistemi ve detayları [98].

4.4.3 Mekanik Büyüklükler

PSL elemanlar, düşük dayanım sınıfından olan ağaç türlerinden üretilse bile, son ürün olarak yüksek dayanıma sahiptir. Bu nedenle, LVL ile $1.5E$ veya glulam ile $1.3E$ dayanımda eleman üretilmesinin karşın PSL elemanların dayanımları $1.8E$ 'den başlar. Çizelge 4.5'te Douglas köknarından üretilmiş PSL elemanların dayanımları verilmiştir.

Çizelge 4.5 PSL elemanların mekanik dayanımları (MPa) [99].

Derecesi (E) ¹	$f_{//t}$	$f_{//c}$	$f_{\perp c}$	$f_{\perp v}$	f_b	MOE
1.8E	22.35	27.50	7.50	2.95	31.85	12410
1.9E	24.10	29.70	8.50	3.35	34.40	13100
2.0E	25.85	31.90	9.40	3.70	36.95	13790
2.1E	27.55	34.15	9.70	4.10	39.50	14480

4.5 LSL – Tabakalı Şerit Kereste (*Laminated Strand Lumber*)

4.5.1 Genel

1990'ların başında, ilk olarak MacMillan Bloedel Ltd. tarafından üretilmiştir [96]. Diğer ahşap kompozitlerde yüksek dayanıma sahip ağaç türleri tercih edilirken, LSL elemanlar, her çeşit dayanım düzeyinde ve her boyutta ağaç tomruğundan üretilmektedir² (Şekil 4.31). Görünüm olarak OSB'yi andırır, ancak, LSL şerit yongalarının boyutları, OSB yongalarından daha uzun, PSL yongalarından daha kısadır [94], [100].



Şekil 4.31 LSL kesiti [101].

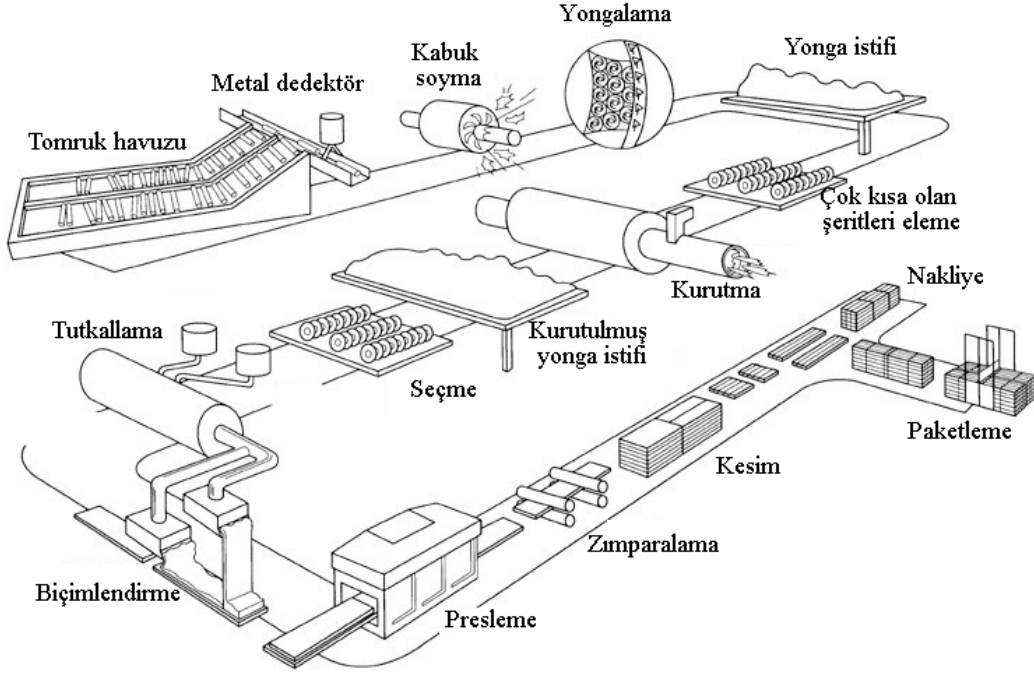
4.5.2 Üretim Tekniği ve Aşamaları

LSL üretiminde kullanılan şeritlerin kalınlığı 0.7-1.2 mm, genişliği en fazla 30 mm ve uzunluğu en fazla 300 mm olmalıdır [72], [100]. PSL üretiminde olduğu gibi,

¹ ($E=10^6$ psi) Verilen MOE değeri E değerinin MPa biriminden karşılığıdır.

² Bu ürün, ticari alanda *TimberStrand®* veya *Intrallam®* adıyla lisanslıdır.

oluşturulan ahşap şerit yongalar, nem oranı % 3-7 arasında oluncaya kadar kurutulur ve poliüretan bazlı tutkallar kullanılarak, elemanın taslağını oluşturacak şekilde şeritler paralel yönde düzenlenir [68]. Daha sonra eleman, buhar enjeksiyon presleme yöntemi ile sıkıştırılır. LSL elemanların genişlikleri 2.44 m'ye kadar, boyları 14.63 m'ye kadar çıkabilir [1]. LSL üretiminin tüm aşamaları Şekil 4.32'te gösterilmiştir.



Şekil 4.32 LSL elemanların üretim şeması [85].

4.5.3 Mekanik Büyüklükler

LSL elemanlar, geniş bir dayanım aralığında üretilabilmektedir. En çok kullanılan dayanım sınıfları 1.3E ile 1.5E olup tüm dayanım sınıfları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 LSL eleman dayanımları (MPa) [102].

Derecesi (E^1)	f_t	f_c	$f_{\perp c}$	$f_{\perp v}$	f_b	MOE
1.3E	13.70	15.40	8.55	1.95	24.20	8965
1.5E	19.10	21.45	9.70	1.95	32.15	10345
1.6E	21.65	23.65	10.35	1.95	34.40	11030
1.7E	23.25	26.20	11.05	1.95	36.95	11720
1.9E	27.40	31.35	11.05	1.95	43.95	13100
2.1E	31.85	36.05	11.05	1.95	50.00	14480

¹ ($E=10^6$ psi) Verilen MOE değeri E değerinin MPa biriminden karşılığıdır.

YAPISAL AHŞAP KOMPOZİTLER İLE OLUŞTURULAN GENİŞ AÇIKLIKLI YAPI SİSTEMLERİ

Günümüze dek geliştirilen yapısal ahşap kompozit elemanlar ile açıklık mesafeleri az olan geleneksel masif ahşap yapıların aksine, oldukça geniş açıklıklı ahşap yapılar oluşturmak mümkündür. Üretilen ahşabın taşıma kapasitesinin artmasıyla taşıyıcı sistem türleri zaman içinde farklılaşmıştır. Yapısal ahşap kompozitler ile oluşturulan taşıyıcı sistemler şu şekilde sıralanabilir;

- 1.Kirişler
- 2.Kemerler
- 3.Makaslar
- 4.Kubbeler
- 5.Izgara kabuklar
- 6.Katlanmış plaklar
- 7.Dokuma ahşap yapılar

5.1 KİRİŞLER

Ahşap kompozit kirişler, fabrika ortamında istenilen her formda üretilebilmektedir. Burada önemli olan, geçilecek açıklık mesafesidir. Çünkü her kiriş tipinin geçebileceği maksimum açıklık değeri bellidir. Düz, eğri, trapez ve konsol kiriş gibi sık kullanılan sistemlerde üretim oldukça standartlaşmıştır. İnce kesitli kiriş ve kolonların birleştirilmesiyle oluşan çerçeve sistemler ile geçilebilecek açıklık ise daha fazladır.

5.1.1 Kiriş Tipleri

Düz kirişler:

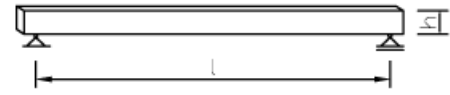
Basit mesnetli olup genellikle dikdörtgen kesitlidir ve mukavemet değeri, kesitine bağlıdır (Şekil 5.1). Kirişlerdeki yanal burkulma olasılığına karşı kirişler arası çaprazlama elemanları gerekebilir. Ahşap kirişlerin derinliği 10-30 cm [30], genişliği 6-220 cm düzeyindedir [103].

Trapez kirişler:

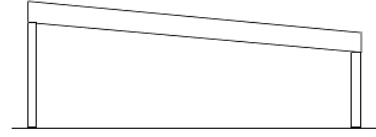
Daha geniş açıklıklarda düz kirişlere göre daha ekonomik çözümler üretmek amacıyla tasarlanır (Şekil 5.2). En popüler olanı kavisli-çift eğimli (eğim 5-20° arasında) kiriştir. Özel yük durumlarına göre, bir ucu diğer ucundan daha yüksek olan kirişler de yapılabilir. Bu kirişlerin aks aralığı 5-7 m arasındır [30].

Eğri kirişler:

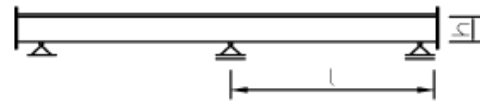
Eğri olan ancak eğriliği bir kemer çalışması yapmayacak kadar küçük olan kiriş tipidir (Şekil 5.3). Standart eğri formların yanında, projeye özel eğriliklerde de üretilebilir. Bu kirişlerin aks aralığı 2-6 m arasındır [30]. Eğri kirişlerin uç kısımlarını, konsol olarak çalıştırmak mümkündür.



$$L < 30\text{m} ; h/L: 1/17$$

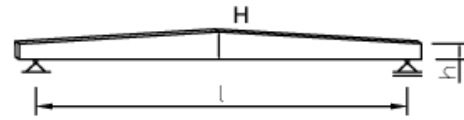


$$L < 30\text{m} ; h/L: 1/20$$

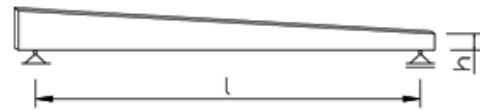


$$L: 10- 30\text{m} ; h/L: 1/20$$

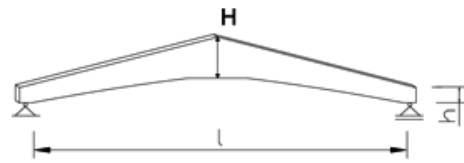
Şekil 5.1 Düz kiriş mesafeleri [77], [104].



$$L: 10- 50\text{m} ; h:L/30 - L/40 ; H: L/16$$

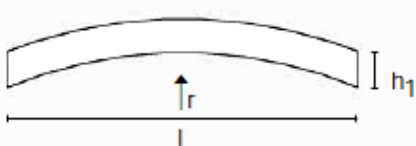


$$L < 25\text{ m} ; h: L/30$$

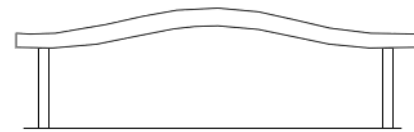


$$L: 10- 30\text{m} ; h:L/30 ; H: L/16$$

Şekil 5.2 Trapez kiriş mesafeleri [77], [104].



$$L: 5- 25\text{m} ; h:L/17 - L/25 ; r > 7\text{m}$$

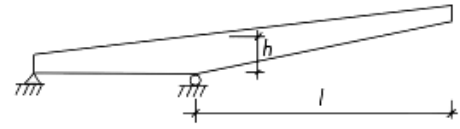


$$L: 10- 20\text{m} ; h:L/17 - L/25 ; r > 7\text{m}$$

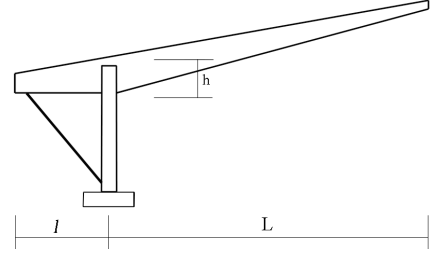
Şekil 5.3 Eğri kiriş mesafeleri [77], [104].

Konsol kirişler:

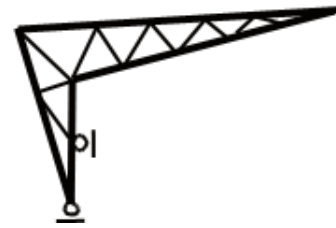
Statik olarak uygun şekilde bir noktadan sabitlenmiş olan kirişlerdir. Tek uçtan konsollu kirişlerde, mesnette artan eğilme momenti ve kesme kuvvetini karşılamak için, eleman ile mesnet noktası arasında basınç ve çekme elemanları ile statik denge sağlanır (Şekil 5.4). İki uçtan konsol kiriş, ortasındaki maksimum eğilme momentini azalttığı için statik açıdan daha olumlu bir yaklaşımdır [105]. Günümüzde dolu ahşap kompozit elemanlar ile 30 m'lik veya kafes kiriş elemanlar ile 40 m'lik konsol sistemler kurulabilir. Balkonlar, saçaklar, büyük pazar yerleri veya tribün çatıları için kullanılabilir.



$L < 30 \text{ m} ; h/L: 1/10$

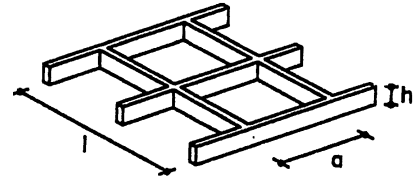


$L < 30 \text{ m} ; h/L: 1/10$



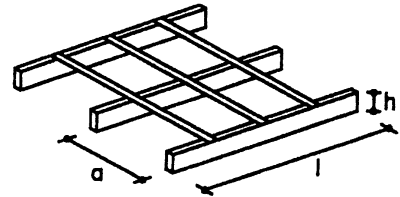
$L: 30-40 \text{ m} ; h/L: 1/10$

Şekil 5.4 Konsol kiriş mesafeleri [104], [62].



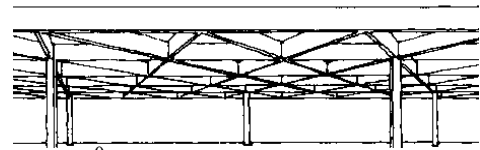
$L: 12-25 \text{ m} ; h/L: 1/16 - 1/30$

Kiriş aralığı: 2- 7m



$L: 4-8 \text{ m} ; h/L: 1/12 - 1/20$

Kiriş aralığı: 3- 5m



60° ile birleşen ızgara sistem

Izgara kirişler:

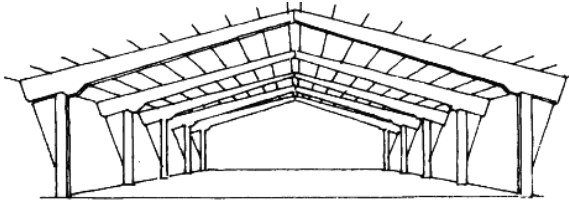
Genellikle, tek doğrultulu sürekli kirişlerin (ana ve ikincil kirişler) sadece kesme kuvveti aktaracak şekilde birbirine dik birleştirilmesinden oluşmaktadır (Şekil 5.5). Bir başka türü de; ana kirişlerin 60° ile kesiştirilmesiyle oluş-turulur. Kurulumları özel detaylar gerektirmediği için maliyet açısından uygundur. Bu nedenle, çok sayıda uygulamaları vardır.

Çerçeve sistemler:

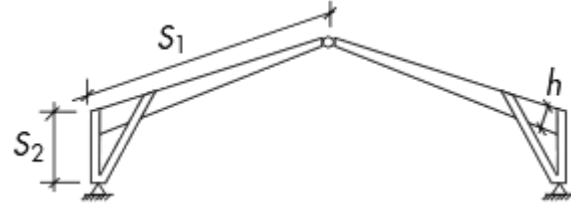
Yüksekliğin artmasının istenmediği geniş açıklıklı sistemlerde, çerçeve sistemler kullanılır. Çerçeveler, basit mesnetli kirişlerle karşılaştırıldığında, açıklık ortasında kesit yüksekliği daha azdır. Bu nedenle, çerçeveler üretim açısından ekonomiktir, montajı ve kurulumu kolaydır.

Şekil 5.5 Izgara kiriş tipleri [77], [104].

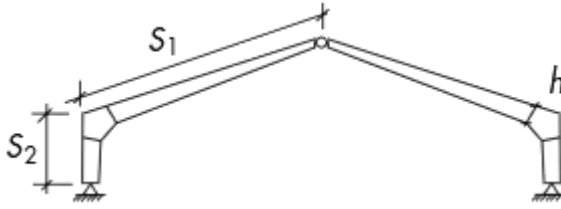
Çerçevelerin mesnetleri mafsallı (2 veya 3 mafsallı) veya ankastre olabilir. Çerçeveler düz, eğri veya eğik kiriş başlıklarla oluşturulabilir (Şekil 5.6).



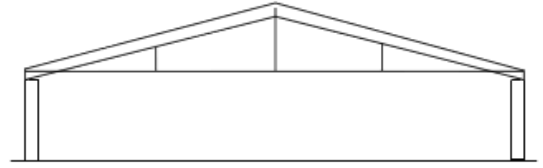
L: 15- 50m ; eğim: $> 14^0$; h: $S_1+S_2/15$



L: 15- 50m ; eğim: $> 14^0$; h: $S_1+S_2/15$



L: 15- 50m ; eğim: 14^0 ; h: $S_1+S_2/15$



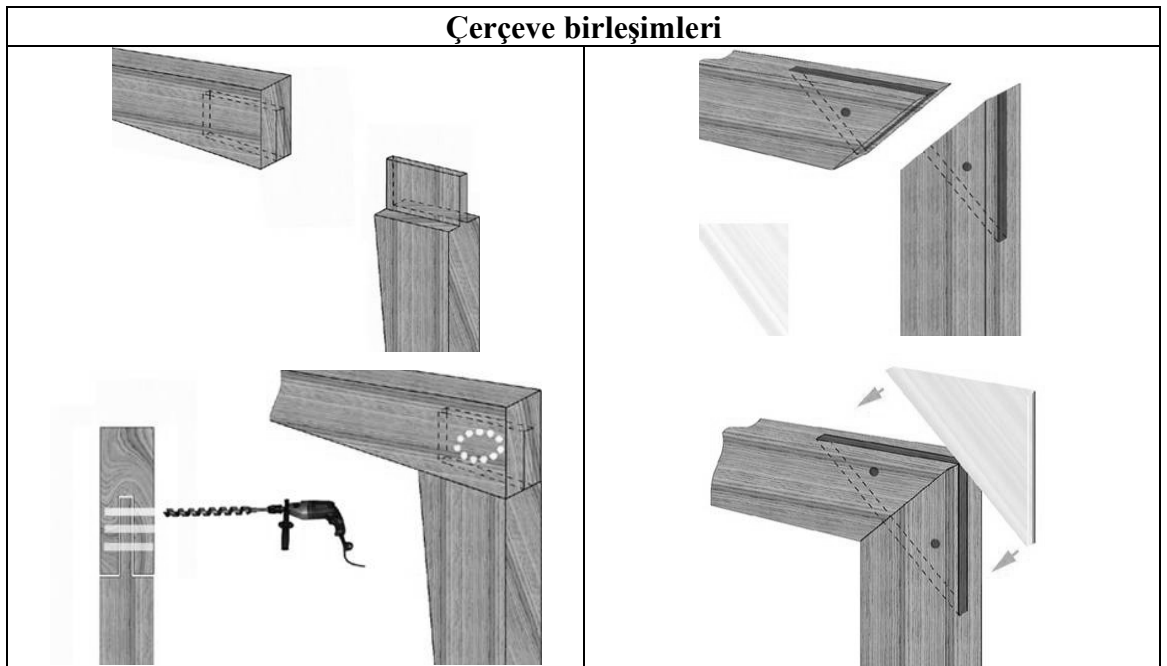
L: 15- 40m ; eğim $> 14^0$; h: $S_1+S_2/15$

Şekil 5.6 Çerçeve sistem tipleri [77]

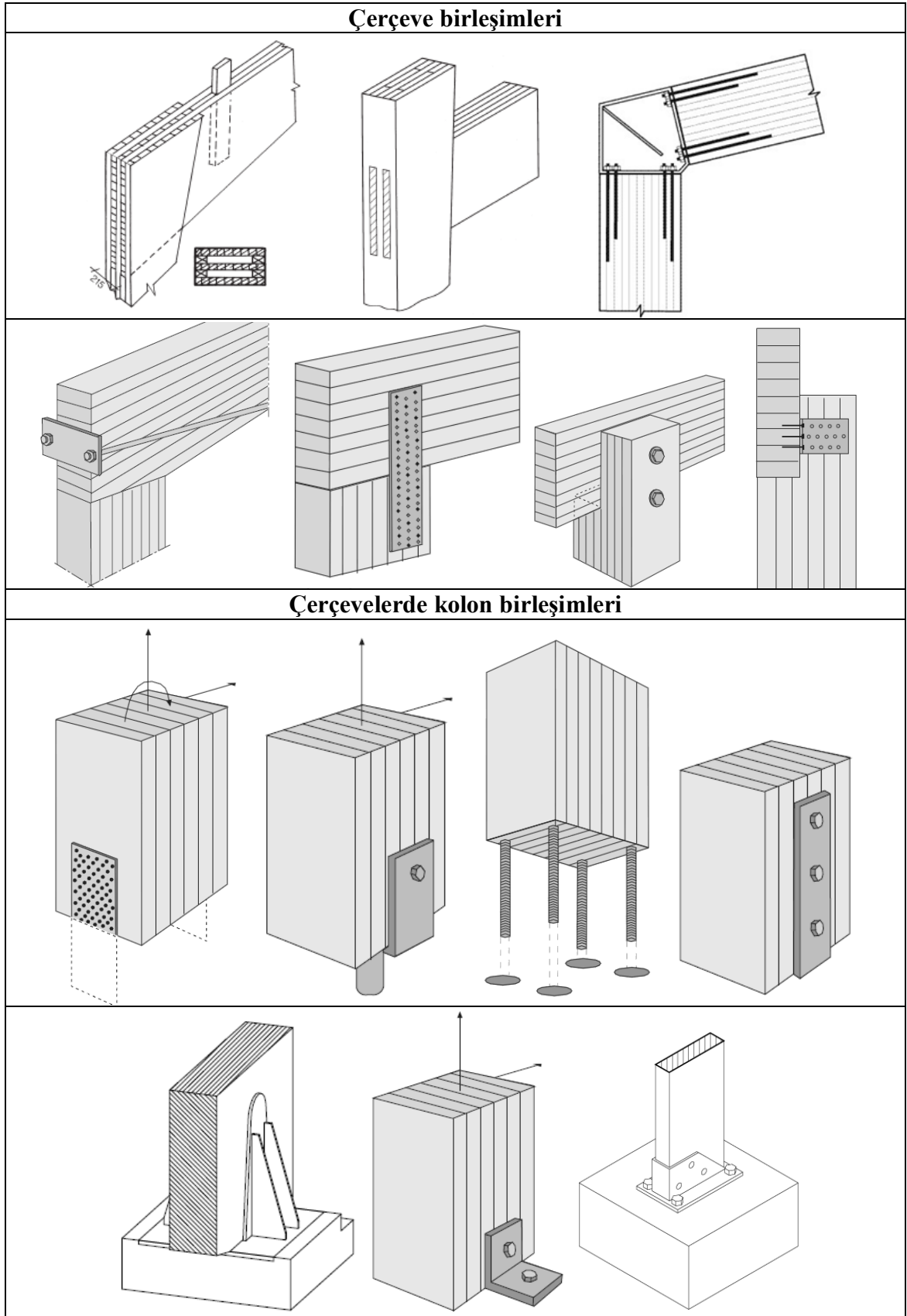
5.1.2 Kirişlerde Birleşim Detayları

Kiriş tiplerinin ve oluşturulan sistemlerinin farklı olmasına bağlı olarak elemanlar arası birçok birleşim detayı geliştirilmiştir. Bunlar detaylı olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir.

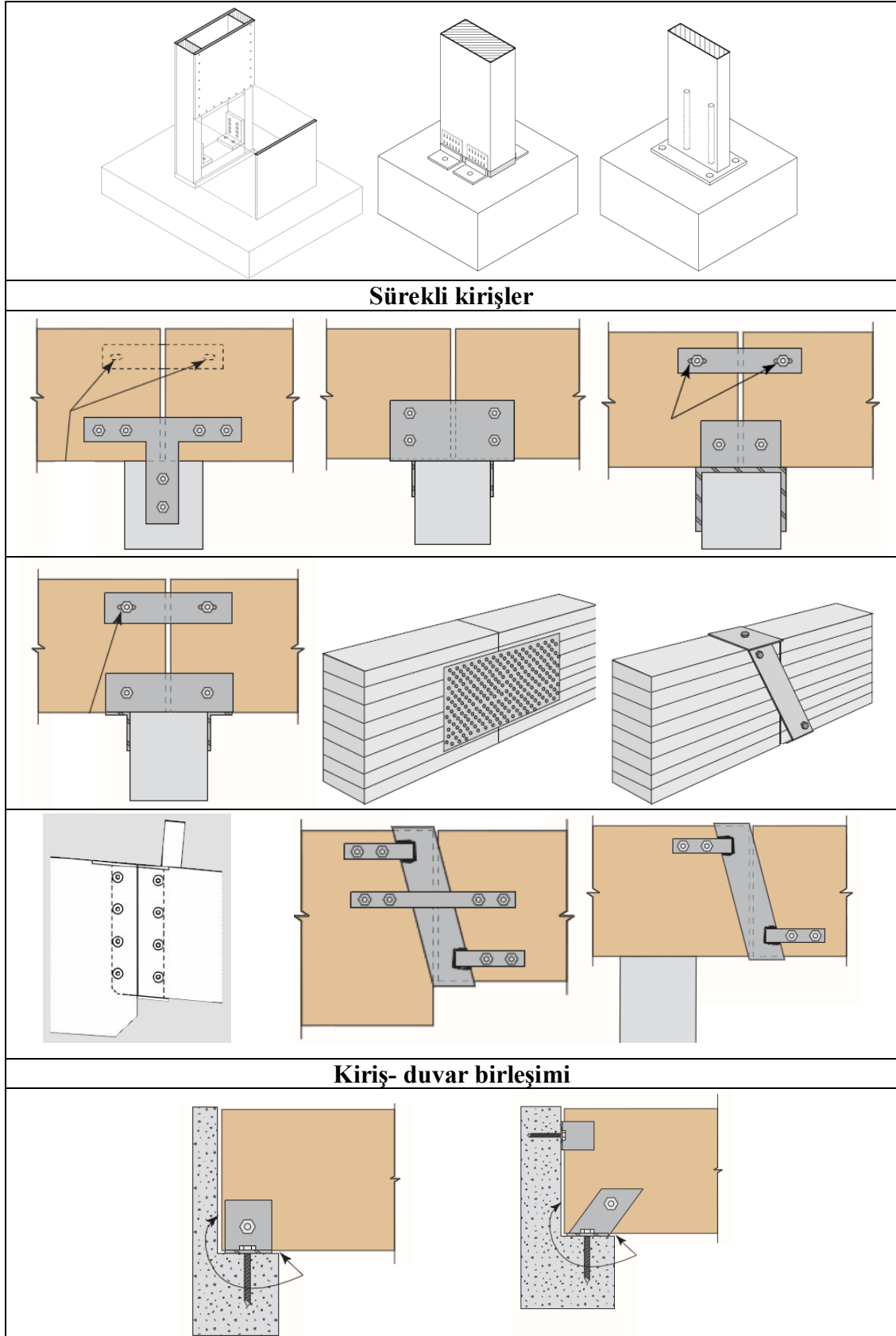
Çizelge 5.1 Kiriş sistemlerde birleşim detayları [30], [77], [104], [106 - 110].



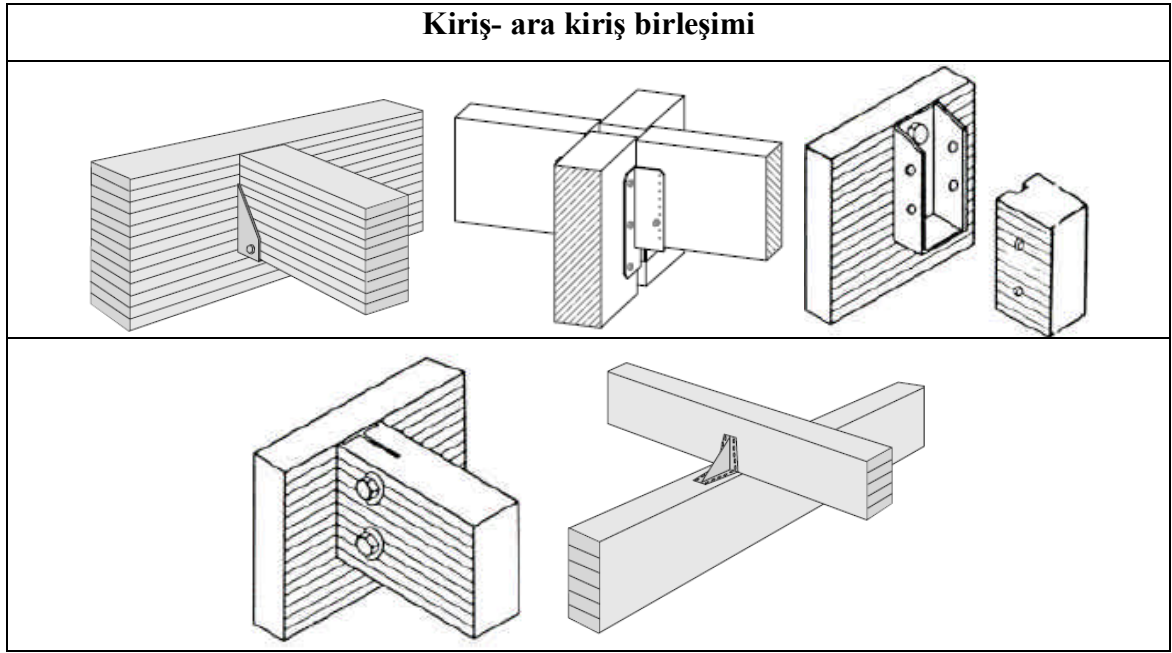
Çizelge 5.1 Kiriş sistemlerde birleşim detayları [30], [77], [104], [106 - 110] (devam).



Çizelge 5.1 Kiriş sistemlerde birleşim detayları [30], [77], [104], [106 - 110] (devam).



Çizelge 5.1 Kiriş sistemlerde birleşim detayları [30], [77], [104], [106 - 110] (devam).

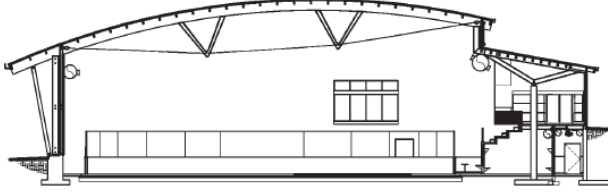
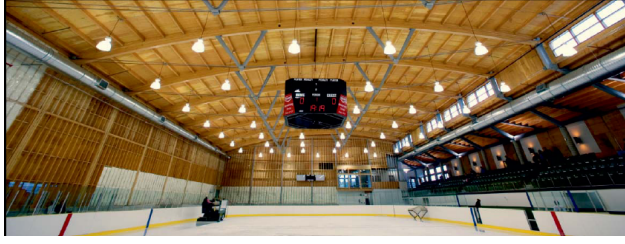


5.1.3 Yapı Örnekleri

Dünyada yapısal ahşap kompozitler kullanılarak oluşturulmuş kiriş sistemlerin birçok örneği bulunmaktadır. Tez kapsamında dört örnek verilmiştir. Bunlar,

- Armstrong Spallumcheen Arena, (Çizelge 5.2)
- Kingmead Primary School, (Çizelge 5.3)
- West Vancouver Aquatic Center, (Çizelge 5.4)
- Özel Irmak Lisesi, Kapalı Spor Salonu, (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.2 Armstrong Spallumcheen Arena, İngiliz Kolombiyası [111].



Yapının kesiti



Kirişleri destekleyen V çelik ayaklar.



PSL kolonlar ile glulam kirişlerin birleşimi.

Yapım yılı: 2005.

Mimarı: Graham Edmunds Cartier.

Yapı hakkında:

18 ayda hem tasarımı hem de inşası tamamlanmıştır. 700 seyirci kapasiteli bir buz pisti, giyinme-soyunma odaları ve çok amaçlı bir salonu kapsamaktadır.

Yapısal bilgiler:

Çatı sisteminde, LVL ve glulam ahşap elemanlar kullanılmıştır. Ana eğri kirişler 200x750 mm enkesitli glulam eleman olup, alt kısımdan 35 mm çaplı çelik kablo ile gerilmiştir. Glulam ile çelik kablo arasında V çelik diyagonal ayaklar, basınca çalışarak kirişi desteklemektedir. Kirişler bir uçlarında, tribünlerin konsol çelik çerçevesine otururken, diğer uçta 400 mm çaplı kolona¹ oturmaktadır. Kirişler arasında 89x240 mm enkesitli mertekler² kullanılmış, üzeri 25 mm kalınlıkta kontrplak levhalarla kaplanmıştır. Duvarlarda 38x240 mm – 38x190 mm kalınlıkta dolgu paneller, 15.9 mm kontrplak levha duvar kaplaması, çatı desteği ve duvar taşıyıcısı olarak 150x356 mm kesitli PSL ayaklar kullanılmıştır. Çatı alanı 2442 m²'dir ve yangına karşı sprinkler sistemi ile donatılmıştır.

¹ Douglas köknarından üretilmiş.

² Douglas köknarından üretilmiş.

Çizelge 5.3 Kingmead Primary School, Northwich, İngiltere [112], [113].



Yapıda kullanılan glulam kirişler.



Yapının içten görünümü.

Yapım yılı: 2004.

Mimarı: White Design Associates Ltd.

Yapı hakkında:

Bu ilkokul yapısı bir ek binadır ve yedi sınıflı, 150 öğrenci kapasitelidir. ‘Sürdürülebilirlik’, önemli bir tasarım parametresidir. İnşası sadece 9 ay sürmüştür.

Yapısal bilgiler:

Birbirlerine simetrik olarak ters ve merkezden 5 m mesafede yerleştirilen kirişlerin, sırt eğimi 4 derecedir. Çatının tam orta kısmına doğru azalan eğim sayesinde yağmur sularının buradan toplanması sağlanmıştır.

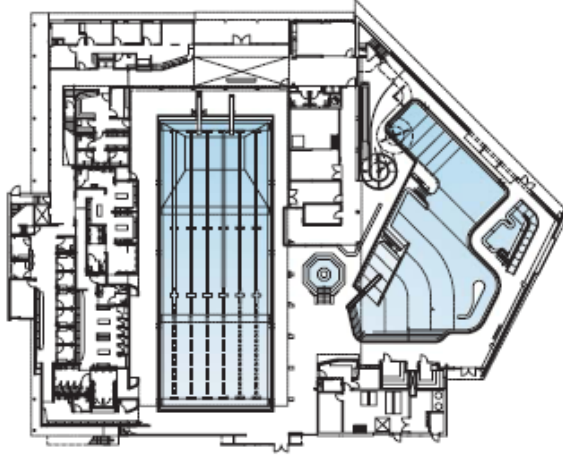
Kirişlerin serbest uçlarına doğru yükselmesi, sınıfların tavan yüksekliklerini arttırmıştır. Çatı kaplaması, tek kat kauçuk membrandır. Dış duvarlar, ısı yalıtımıyla birlikte ahşap panellerle, iç kısımlarda derslikleri ayıran duvarlar ise beton blok duvarlarla yapılmıştır.

Özellikle sürdürülebilirlik kavramının öne çıktığı yapıda, BMS (Building Management System) kullanılarak, her sınıfın hava değerlerine göre ayrı havalandırılabilmesi sağlanmış, çatısına yerleştirilen fotovoltaik panellerle elektrik ihtiyacının %15’i ve sıcak su ihtiyacı sağlanmıştır.

Çizelge 5.4 West Vancouver Aquatic Center, Vancouver, Kanada [114].



Yapının gece görünümü.



Yapının planı.



Yapıda kullanılan glulam V kolonlar.

Yapım yılı: 2004.

Mimarı: Hughes Condon Marler : Architects.

Yapı hakkında:

Yapı, 25 yıllık bir su spor merkezinin yenilenmesi amacıyla planlanmıştır. Toplam kapalı alan 3050 m² olup, tasarımında ilk önce taşıyıcı sistemi belirlenmiştir. Kolonlar ve çatı, glulam elemanlardan, çatı kaplaması ise metal levhalardan oluşturulmuştur.

Yapısal bilgiler:

Yapıdaki glulam elemanların gözükmeyen metal plaka bağlantıları, sistemin kesintisiz olduğu hissini vermektedir. Özellikle, lades kemiği biçimindeki glulam kolonlarda, alt ve üst birleşim noktalarında herhangi bir metal plaka dışarıdan gözükmemektedir. Bu görünüm, metal plakaların dübellerle kaynaklanması ve glulamin epoksi ile birleştirilmesiyle sağlanmıştır. Bu kolonlar yatay yükü de almaktadır.

Çok az metal plaka açıkta kalmış, bunlarda da vida boşlukları 25 mm boşluk kalacak şekilde yapılmıştır. Cephe kullanılan düşey kolonlar da hem çatıyı desteklemekte hem de cam cephe için iskelet oluşturmaktadır. Yapıda yangına karşı sprinkler sistemi kurulmuş ve glulam elemanlar özel maddelerle emprenye edilmiştir.



Yapının genel görünümü.



Yapıda kullanılan eğri kirişleriniçten görünümü.

Yapım yılı: 1999.

Mimarı: Nevzat Sayın.

Yapı hakkında:

Spor salonunun tonoz formu, eğrisel kirişlerle oluşturulmuştur. Türkiye çapında ahşap kompozit kirişlerin kullanıldığı en büyük ölçekli projedir.

Yapısal bilgiler:

Mevcut sistemde tonoz aşıkları eğrisel kirişlere, bu eğrisel kirişler de 11 adet 20x80 cm kesitli, 20 m uzunluğunda dikdörtgen enkesitli kirişlere oturmaktadır. Söz konusu kirişler, hem tonozu hem de kitaplık döşemesini taşımaktadır. Sistem aksları 600 cm, toplam alan ise 1200 m²'dir. Yapı, girinti ve çıkıntılardan uzak, sade yapısı ile prefabrike üretime oldukça elverişli bir mimari kütledir.

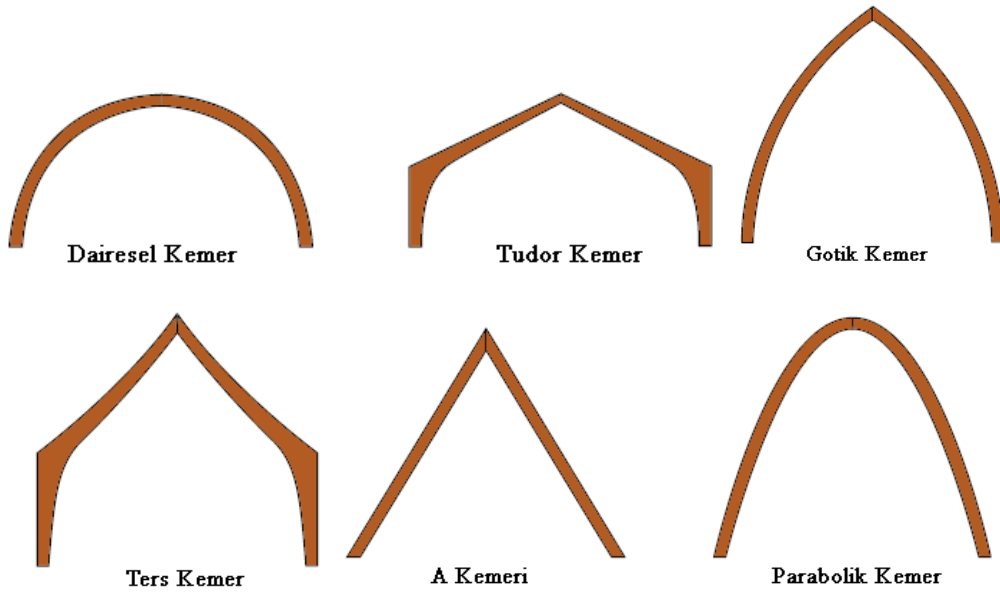
Tabakalı ahşap yapı elemanları üreten Holzbau firmasının bu konuda uzmanlaşmış yapı mühendisleri, proje mimarı ve Yapı Merkezi Statik Bürosu'nun birlikte çalışmaları sonucu projelendirilmiş tasarımın, uygulama projesi ~ 30 gün sürmüştür.

Bağlantı ankrajları vb. mekanik birleşimler bu aşamada kesin olarak saptanmıştır. Kirişlerin montajı 9 gün, projeye uygulanması 18 gün sürmüştür.

5.2 KEMERLER

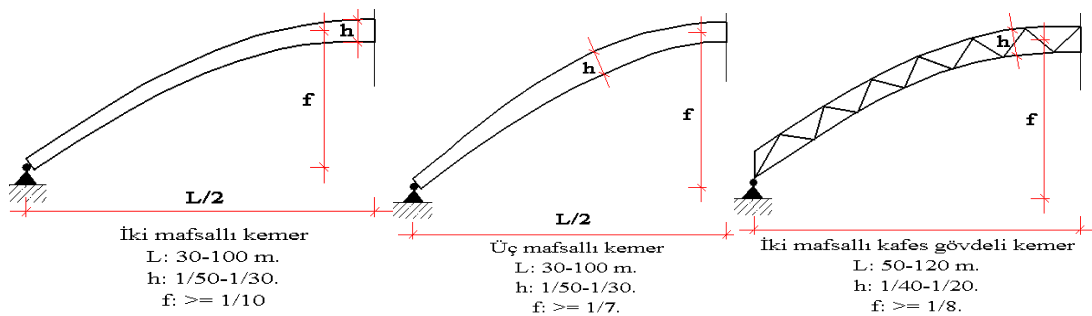
5.2.1 Kemer Tipleri

Kemerler, büyük ölçüde basınca çalışan ve üzerine gelen yükleri, iki ucundaki mesnetlere aktaran tek eğrilikli elemanlardır. Açıklık ve yüksekliğe göre kemerler, farklı eğrilerle oluşturulabilir. Dairesel kemerde tüm elemanlar aynı merkezi noktaya sahiptir ve bu üretimi kolaylaştırdığı için ekonomik bir çözümdür. Eğriselliği daha çok olan, üretimi zor olan kemer uygulamalarına da rastlamak mümkündür (Şekil 5.7). Kemerin eğrilik yarıçapı arttıkça, yüksekliği azalır. Ancak bu, temelde oluşan yatay itme kuvvetini artırır [115].



Şekil 5.7 Farklı kemer tipleri [116].

Kemerler, iki veya üç mafsallı oluşturulabilir (Şekil 5.9). Üç mafsallı kemerler ile daha büyük açıklık geçilebilir. Geçilen açıklığa göre; ekonomik olması, statik dengenin daha kolay sağlanması ve hesap kolaylığı açısından kafes gövdeli kemer seçilebilir (Şekil 5.8).

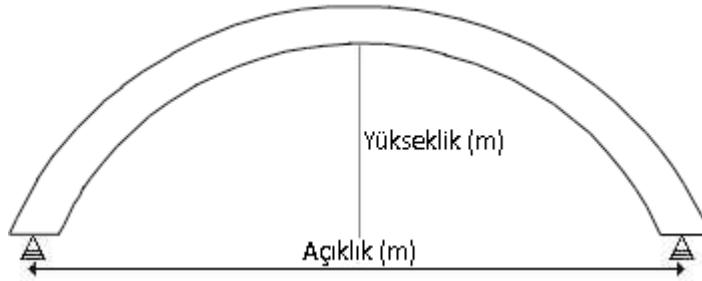


Şekil 5.8 İki ve üç mafsallı kemer [115].



Şekil 5.9 İki ve üç mafsallı dolu gövdeli kemer örnekleri [117].

10- 40 m arasındaki açıklıklarda uygulanabilecek dairesel kemerler için uygun merkezi yükseklik ve aks aralığı değerleri Şekil 5.10'da verilmiştir [107].

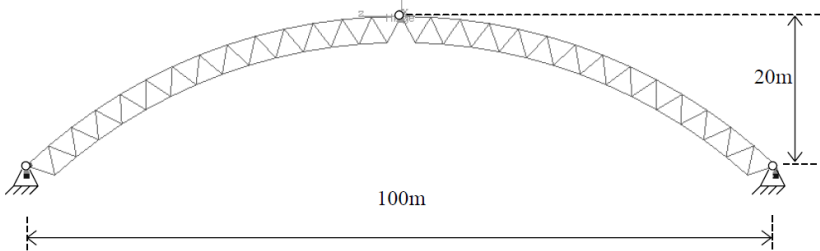
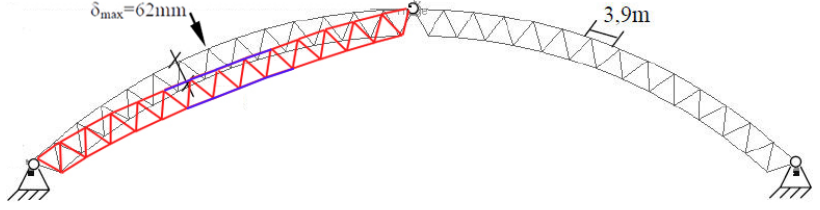
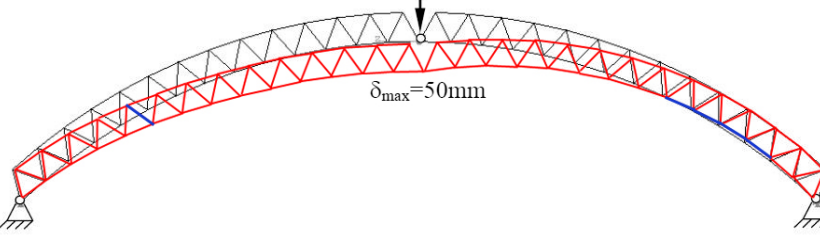
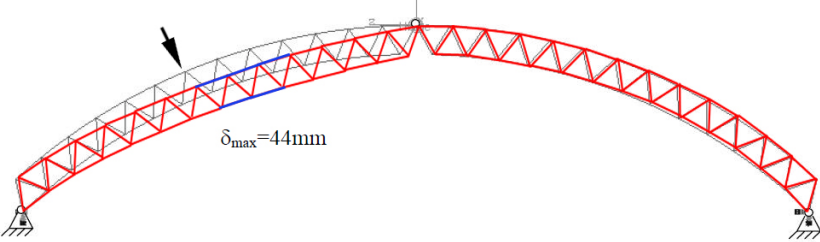


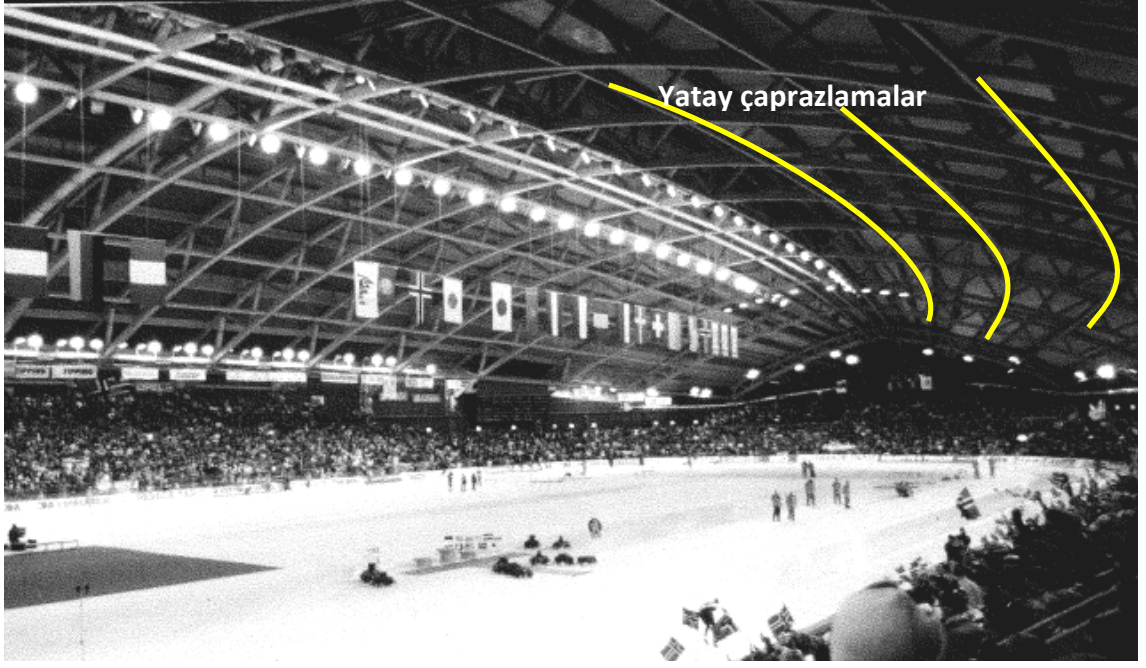
Açıklık (m)	Aks aralığı (m)	Yükseklik (m)
10	4	3.3
	6	3.3
15	4	5.0
	6	5.0
20	4	6.6
	8	6.6
25	4	8.3
	8	8.3
30	4	10.0
	8	10.0
40	4	13.2
	8	13.2

Şekil 5.10 Dairesel kemerlerde uygun değerler [107].

Farreyre ve Journot [115], 100 m açıklık geçen ve 20 m yükseklikte bir kafes gövdeli kemerin, farklı mesnetlenme durumlarının yükler altındaki davranışlarını analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

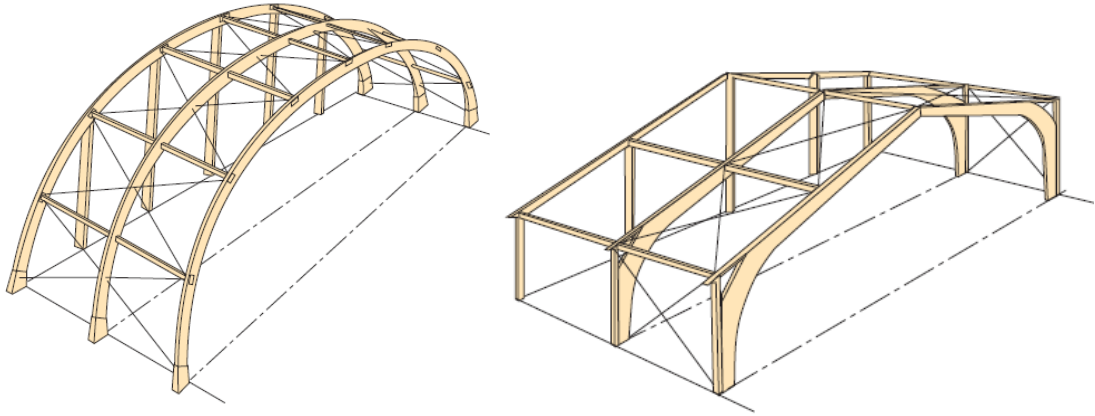
Çizelge 5.6 Asimetrik yükler altında, farklı mesnetlenmiş kemerlerin deformasyonu.

Eurocode 1'e göre uygulanan kar yükleri	
Çalışmada hesaplanan kemer (kN)	
BC1 modeli ve deformasyonu $\sigma_{\min}$: -2537 $\sigma_{\max}$: +1123	
BC2 modeli ve deformasyonu $\sigma_{\min}$: -1818 $\sigma_{\max}$: +254	
BC3 modeli ve deformasyonu $\sigma_{\min}$: -1901 $\sigma_{\max}$: +898	
Sonuç	Kemerlerde, yatay mesnet tepkisinin önemi göz önüne alındığında, BC3 modeli, tüm kuvvetleri üst ve alt başlıklar arasında oranlı bir şekilde dağıtması sonucu, en az deformasyonu göstermiştir. Burulma açısından, BC1 ve BC3 modellerinde stabilite çaprazlarına gerek yoktur. Ancak, BC2 modeli, en olumsuz koşulu göstermiş ve mafsallı noktasının deplasman yapması nedeni ile yükler kafes çubuklarına aktarılamamıştır. Bu durum, yanal burkulmanın kolayca meydana gelmesine neden olacaktır. Dolayısıyla uygun bir form değildir. Şekil 5.11'de gösterildiği gibi stabilite çaprazları gereklidir.



Şekil 5.11 BC2 modelinin örnek alındığı Hamar Olympiahall, Norveç, [115].

Kemerlerde, kiriş elemanlar arasında olduğu gibi düzlemlerine dik doğrultuda çelik kablolarla veya ahşap elemanlarla stabilite çaprazları yapılarak yapıya rijitlik kazandırılmaya çalışılır. Şekil 5.12’de örnek stabilite çaprazları gösterilmiştir.

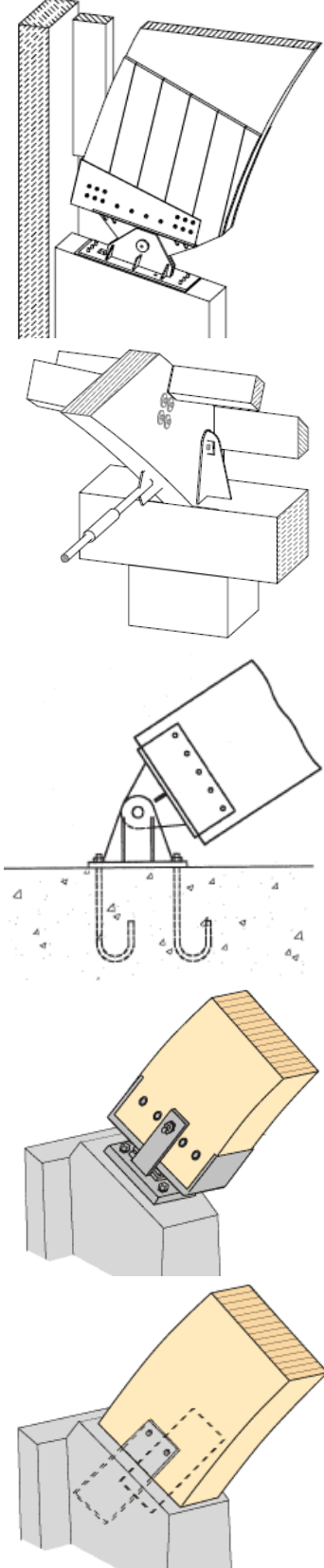
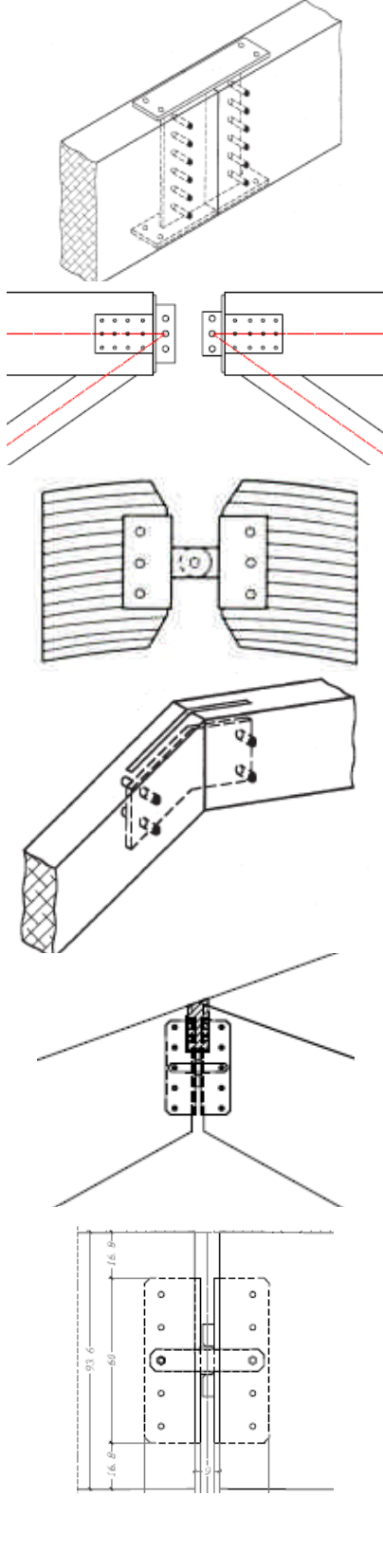


Şekil 5.12 Dairesel ve tudor kemerlerde stabilite amaçlı çapraz uygulaması [77].

5.2.2 Kemerlerde Birleşim detayları

Kemerlerin mesnetlerinde ankastre veya mafsallı olmasına göre ve kemerin üç mafsallı olması durumunda uygulanan birleşim detayları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Kemerlerde uygulanan birleşimler [77], [104], [107], [109].

Mesnet birleşimleri	Mahya birleşimleri
	

5.2.3 Yapı Örnekleri

Dünyada yapısal ahşap kompozitler kullanılarak oluşturulmuş kemerlerin birçok örneği bulunmaktadır. Tez kapsamında dört örnek verilmiştir. Bunlar,

- Sheffield Winter Garden, (Çizelge 5.8)
- Brentwood Skytrain Station, (Çizelge 5.9)
- Sunderland Aquatic Centre, (Çizelge 5.10)
- Padre Pio Pilgrimage Church, (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.8 Sheffield Winter Garden, Güney Yorkshire, İngiltere [87], [118].



Yapıda kullanılan kemer elemanlar ve mesnet bağlantıları.

Yapım yılı: 2003.

Mimarı: Pringle Richards Sharratt Architects.

Yapı hakkında:

70 m uzunlukta, 21 m yükseklikteki bu yapı, karaçam¹ ağacından üretilmiş glulam kirişlerden oluşmaktadır. Ayrıca, yapıda BMS havalandırma sistemi kurulmuş, böylece, bitkilere mevsimsel etki yaratılmıştır.

Yapısal bilgiler:

Kullanılan glulam kirişler, 50mm kalınlıktaki tabakaların tutkalanmasıyla oluşturulmuştur. Şantiye alanına getirilen en büyük kiriş 24 m uzunlukta ve 90 cm kalınlıktadır. Kemerlerin yüksekliklerinin artması, eğilme momentindeki azalma nedeni ile kirişlerde ekonomi sağlamıştır. Kemerler, yerden 3.75 m yükseklikte, çelik profillerle bağlanmıştır. Böylece, glulam kirişlerin içerden desteklenmesine gerek kalmamıştır.

Kirişlerin ahşaptan üretilmesi, yapının, tümüyle çelik imalata kıyasla %65, tümüyle betonarmeden imalata kıyasla %15 daha hafif olmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda, kurulum maliyeti de azalmıştır.

¹ Bunun nedeni, karaçamın böcek türlerine karşı, karaçamın doğal bir dayanıma sahip olması, ek bir koruyucu işlem gerektirmemesidir.

Çizelge 5.9 Brentwood Skytrain Station, Vancouver, Kanada [119], [120].



Yapım yılı: 2003.

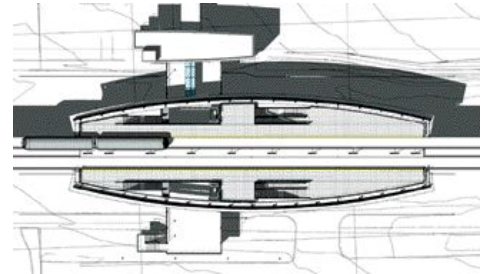
Mimarı: Busby + Associates Architects.

Yapı hakkında:

Lougheed otoyolu üzerinde 9 m yükseklikteki köprüden geçen tren hattının istasyonu olarak tasarlanmıştır. Aynı zamanda, Brentwood Alışveriş merkezine bağlantı sağlanmaktadır. Yapının toplam alanı 2100 m² olup toplam maliyeti 8.1 milyon \$'dır.

Yapısal bilgiler:

İstasyonun çatı sistemi, çelik ve kompozit ahşaptan üretilmiştir. 3.8 m eğriliğe ulaşabilecek şekilde, 12x89 mm enkesitli Douglas köknarı tabakalarından üretilmiş glulam eğri kirişler, zemine bağlanan çelik ayaklarla birleşerek, bir kemer oluşturmaktadır. Simetrik kemer sistemi, ortada aydınlık yaratmak için, boşluk bırakılarak birleştirilmiştir. Bu birleşimde, kemerler V çelik ayakların başlıklarına çaprazlama elemanlarıyla bağlanmıştır.



Yapının planı.

Çizelge 5.10 Sunderland Aquatic Centre, Tyne and Wear, İngiltere [121].



Yapının dış görünümü.



Yapının kemer sistemi.



Yapının kurulum aşamasından bir görünüm.

Yapım yılı: 2008.

Mimarı: Red Box Architecture.

Yapı hakkında:

500 kişilik seyirci kapasitelidir. Yapının çatı sistemi, Avusturya’da yetişen köknar ağacından üretilmiş glulam kemerler ve LVL elemanlarla inşa edilmiştir.

Yapısal bilgiler:

Çatı sistemi 3 mafsallı kemerlerden oluşmaktadır. Ancak, statik veriler sonucunda, özellikle, glulam yarı-kemerlerin tam kavis kazandığı yerde, eğilme momentinin fazla olması nedeni ile buradaki ahşap eleman kesitini 200 cm genişliğe ve 44 cm derinliğe kadar arttırmıştır. Bir kemeri oluşturan iki eleman toplam 4 parçadan oluşmaktadır: iki düz kiriş parçası ve iki kavisli kiriş parçası. Düz kiriş ile kavisli elemanın birleştiği noktada 2500 kN.m moment taşıdığı hesaplanmıştır. Üretici firma tarafından, bu aradaki bağlantının gizli yapılabilmesi için özel bir detay oluşturulmuştur. Kavisli kısmın çevresel uzunluğu 3 m’dir ve üretimi için, düz kiriş parçalarında 35 mm kalınlıktaki tabakalar kullanılırken, kavisli parçalarda 16 mm’ye kadar ince tabakalar kullanılmıştır.

Çatının yağmur oluk sisteminde biriken yağmur, filtrelenip, süzülüp, havuz için geri dönüşümlü kullanılmaktadır.

Çizelge 5.11 Padre Pio Pilgrimage Church, S. Giovanni Rotondo, İtalya [122], [123].



Yapının dış görünümü.



Yapının kemer sisteminin görünümü.

Yapım yılı: 2004.

Mimarı: Renzo Piano.

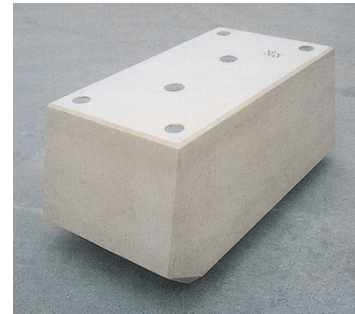
Yapı hakkında:

Bölgeye gelen ziyaretçilerin her yıl artmasıyla, merkezi bir ibadet yeri olarak, 6500 kişi kapasiteli büyük bir kilise olarak inşa edilmiştir. Yapının, tasarlanması ve inşa edilmesi ~ 10 yıl sürmüştür.

Yapısal bilgiler:

Yapının ana çatı taşıyıcı sistemi, klasik taş kemer tarzında karaçam ağacından üretilmiş glulam kemerlerdir. Toplam 22 adet kemer olup, bunların en büyüğü 16 m yükseklikte, 50m açıklık geçmektedir.

Çatı yüzeyinin oluşturulması için, glulam kemerlerin üzerine, paslanmaz çelik çubuk elemanlarla makaslar, mafsallı olarak bağlanmıştır. Yapının toplam kapalı alanı 6000 m², açık dış alanı 9000 m² olup, kemerlerden oluşan çatının kaplamasında 19500 m² bakır esaslı malzeme kullanılmıştır.



Yapının kemerini oluşturan glulam parça.

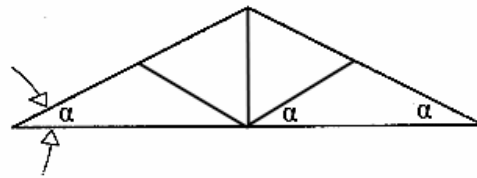
5.3 MAKASLAR

Çatı makasları, başlıklar arasında örgü çubuklarının üçgensel veya dörtgensel düzenlenmeleriyle oluşturulan ve yükleri birleşim noktalarına aktararak taşıyan yapısal çerçevedir [124]. Alt başlık, üst başlık ve örgü çubuklarının montajında simetri eksenlerinin çakışması gerekmektedir. Makaslar, ağırlıklarına oranla oldukça yüksek dayanıma sahiptir ve geniş açıklıklar için farklı makas tipleri oluşturulabilir. Makaslar;

- Mühendislik hesaplarına uygun olarak, örgü çubukları farklı şekillerde yerleştirilebilir,
- Havalandırma, aydınlatma, yangın önlemleri vb. mekanik sistemlerin içinden geçirilmesine olanak sağlar ve bunlar için ayrıca kesim işlemi gerektirmez,
- Sadece aynı ahşap kompozitten üretilebileceği gibi, farklı ahşap kompozitlerin birleştirilmesiyle de üretilebilir veya başlıklar ahşaptan, örgü çubukları çelikten üretilebilir [124].

Makaslarda, örgü çubukları, eksenel basınç ve çekme kuvvetlerinin etkisinde kalır (Şekil 5.13). Bu nedenle, örgü çubuklarının doğru düzenlenmesi, sistemin rijitliğinin sağlanması açısından büyük bir öneme sahiptir [28]. Buna göre,

- Basınç gerilmesi altındaki çubuk boyları, başlıklardaki elemanların boylarından küçük olmalıdır,
- Düğüm noktası sayısı azaltılıp birleşim noktalarındaki detay çözümleri kolaylaştırılmalıdır,
- Herhangi bir noktada kesişen çubuk eksenleri arasında kalan açılar, uygulama açısından zorluk çıkarmaması için çok küçük olmamalıdır ($15^0 \leq \alpha$ ($\approx$ % 27 eğim) [28].

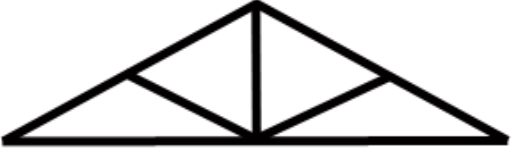


Şekil 5.13 Örnek çatı makası ve örgü çubukları arası α değeri.

5.3.1 Makas Tipleri

Ahşap makaslar, alt ve üst başlıklarına göre veya örgü çubuklarına göre sınıflandırılır (Çizelge 5.12).

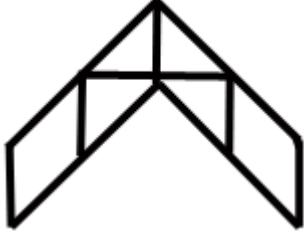
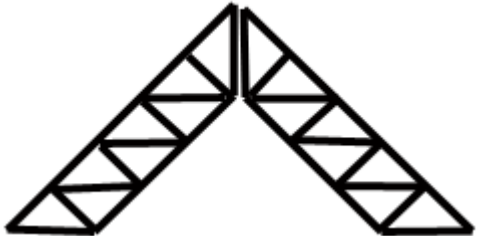
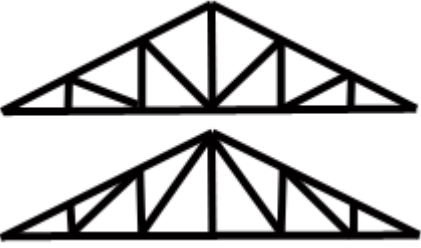
Çizelge 5.12 Makasların sınıflandırılması ve makas tipleri [125], [28].

Alt ve Üst başlıklarına göre sınıflandırma	
Üçgen makaslar	
 King post	 Paladian
 Fan	 Yükseltilmiş Fink
 Howe	 Pratt
 Mono	 Ters makas
 Asimetrik makas	 Attic tipi
 Açılı alt başlık	 Destekli alt başlık

Çizelge 5.12 Makasların sınıflandırılması ve makas tipleri [125], [28], [63] (devam).

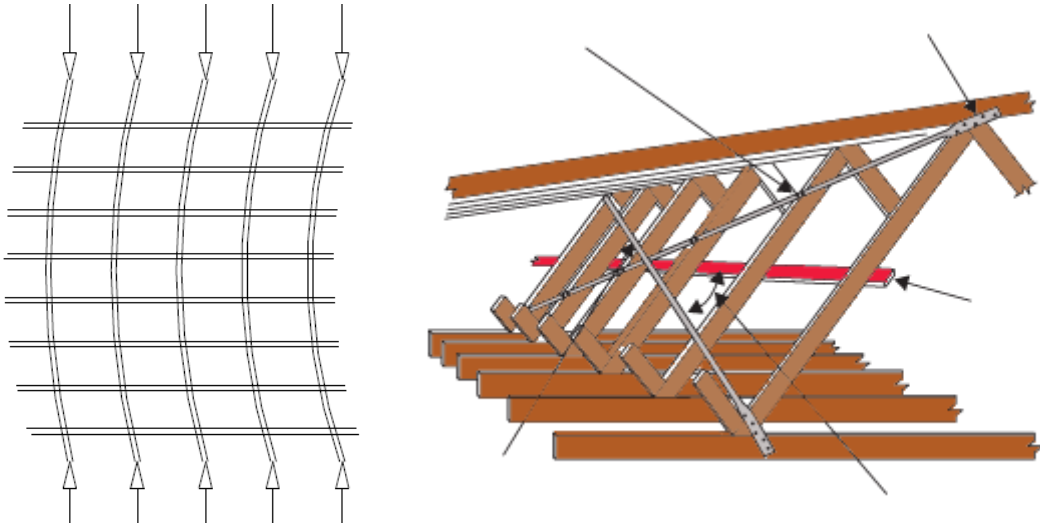
Alt ve Üst başlıklarına göre sınıflandırma	
Trapez makaslar	
	
Paralel başlıklı makaslar	
 Howe	 Pratt
 Warren	 Parapet ve konsol oluşturan
Karma makaslar	
 Gambrel	 Bowstring
 Kesik eğimli	 Hip
	
	

Çizelge 5.12 Makasların sınıflandırılması ve makas tipleri [125], [28], [63] (devam).

Alt ve Üst başlıklarına göre sınıflandırma	
Üç mafsallı makaslar	
	
	
	
Örgü çubuklarına göre sınıflandırma	
 İsviçre tipi	 Alman tipi
 Poloceau tipi	
 İngiliz tipi	 Belçika tipi

Makaslarda, ‘L’ açıklığı ile ‘h’ yüksekliği arasında da yakın bir ilişki vardır. Genellikle ‘h/L’ oranı $1/10 \approx 1/12$ şeklindedir. Bu oran, makas sisteminin sehim koşulundan kaynaklanmaktadır [28].

Ahşap makasların stabilitesi açısından çapraz elemanlar kullanılması gereklidir. Eğer bu elemanlar olmazsa, özellikle üçgen makaslarda, üst başlıklar hareket yönünde devrilmeye meyillidir (Şekil 5.14). Eğer kuvvet, makasın boyu yönünde olursa da yanal burkulmasına neden olur. Bu burkulmanın önlenmesi için, destek örgü çubukları konmalıdır [126].

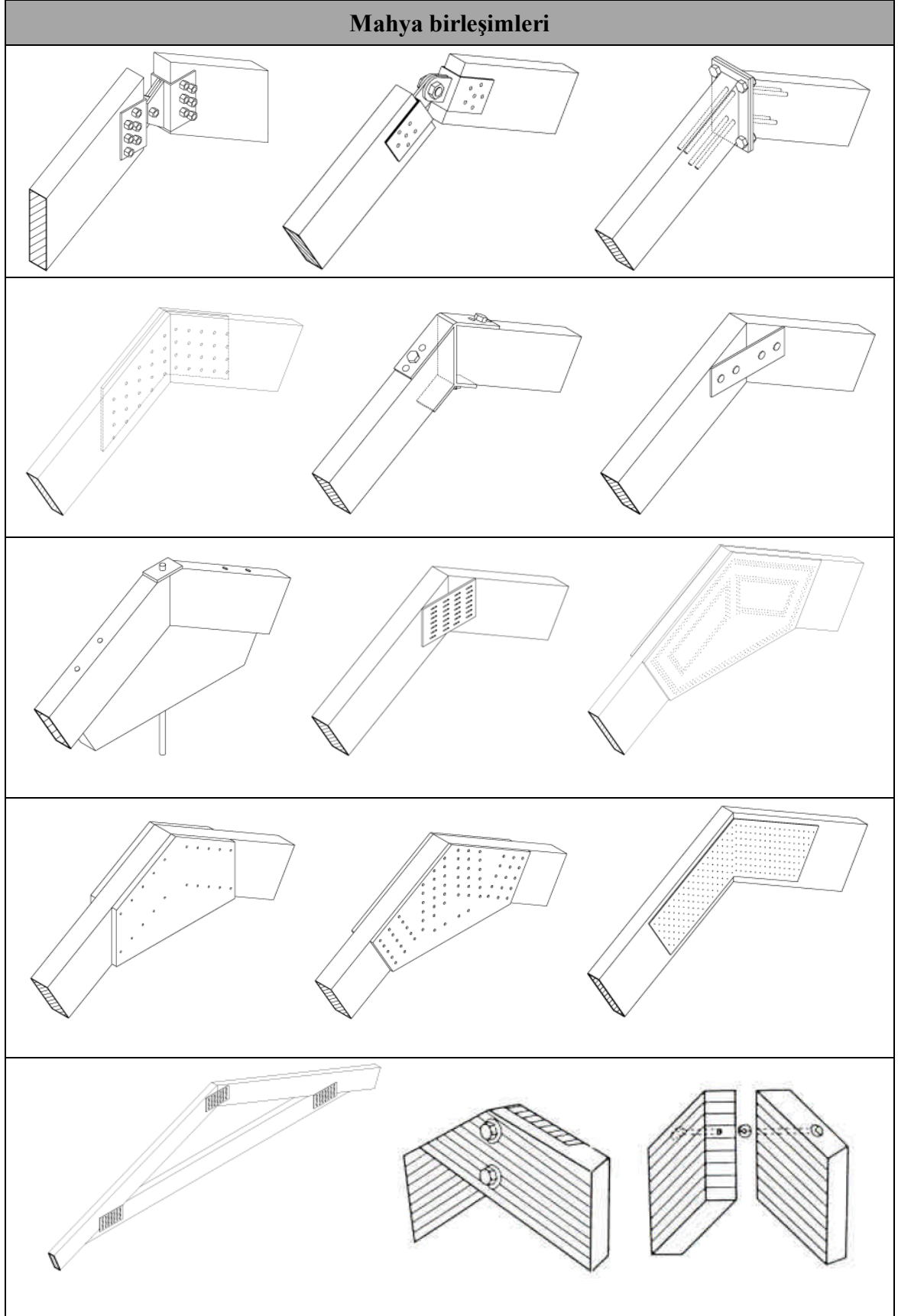


Şekil 5.14 Makaslarda çapraz elemanların uygulaması [126], [127].

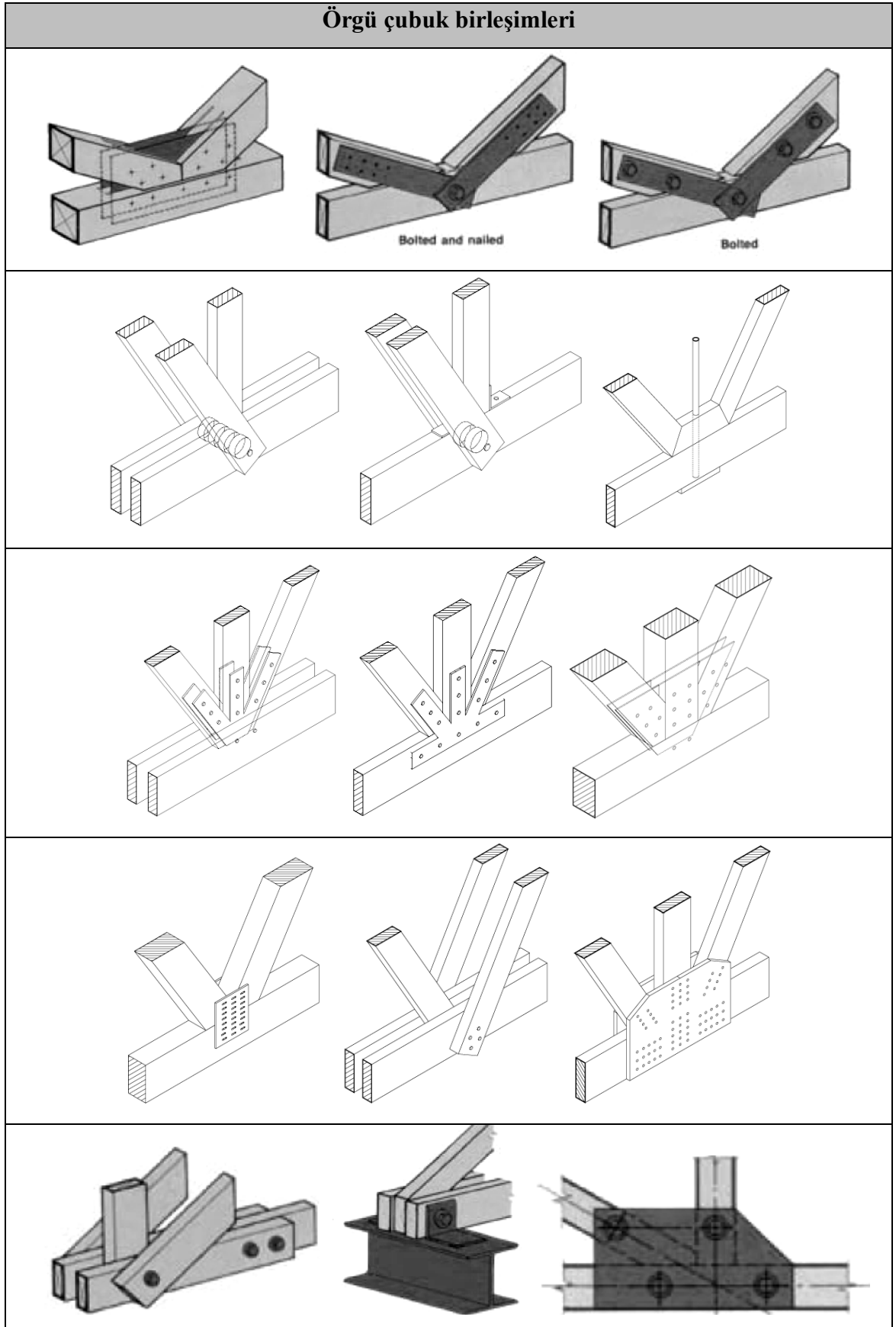
5.3.3 Makaslarda birleşim detayları

Makaslarda hem mesnet bölgesinde hem de örgü çubukları-başlıklar arasında birçok farklı birleşimler geliştirilmiştir. Yapılarda en çok kullanılan detaylar Çizelge 5.13’te verilmiştir.

Çizelge 5.13 Makaslarda uygulanan birleşim detayları [108], [109], [125].



Çizelge 5.13 Makaslarda uygulanan birleşim detayları [108], [109], [125] (devam).



Makaslar özellikle şantiyede depolanmaları sırasında, yatay pozisyonda tutulduklarında, hasar alabilir. Bağlantı plakalarında oynamalar, çivili bağlantı yerlerinde çivilerin dönmesi veya eğilmesi söz konusu olabilir. Eğer, kurulum sırasında vinçlerle taşınması gerekiyorsa, özellikle örgü çubuklarının zorlanmamasına dikkat edilmelidir. Dik konumda taşınması, metal plakaların yerinden oynamasını önleyecektir. Büyük makasların taşınması sırasında, makasın boyunla orantılı olacak şekilde, destek elemanlarından yararlanılır (Şekil 5.15). Makas, önce halatlarla bu elemana bağlanır ve sonra vinç bu elemanı kaldırır. Böylece, halatların yaratacağı anlık kuvvetlerin etkilerinin önüne geçilmiş olur [124].



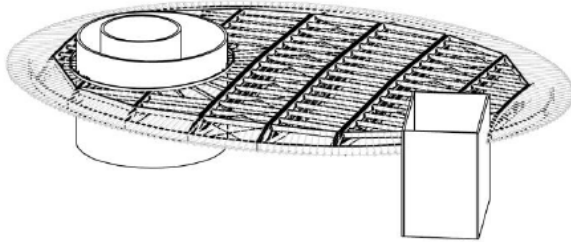
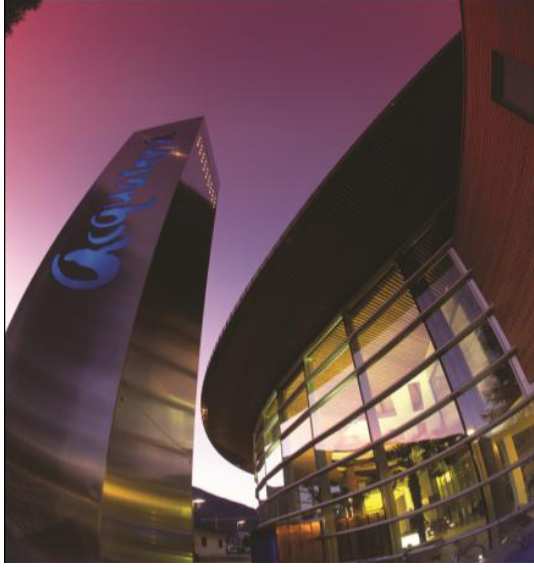
Şekil 5.15 Bir çatı makasının destek elemanı yardımıyla taşınması [124].

5.3.3 Yapı Örnekleri

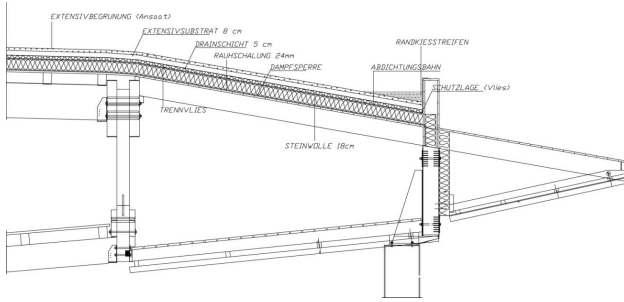
Dünyada kompozit ahşap makasların kullanıldığı birçok yapı bulunmaktadır. Tez kapsamında dört örnek verilmiştir. Bunlar,

- Aqua Arena di Bressanone, (Çizelge 5.14),
- Wisconsin Visitor Information Center, (Çizelge 5.15),
- Palasport di Cefalu, (Çizelge 5.16),
- Chiesa San Giovanna Di Caltanissetta, (Çizelge 5.17).

Çizelge 5.14 Aqua Arena di Bressanone, İtalya [104].



Yapının çatı makas sistemi.



Çatı makasının detayı.



Yapının iç görünümü.

Yapım yılı: 2002.

Mimarı: Ralf Dejaco.

Yapı hakkında:

Spor, fitness ve sağlık merkezi olarak planlanan bu yapıda, yaklaşık 2800 m² faaliyet alanı ve 1000 m²'lik spor ve yüzme alanı bulunmaktadır.

Yapısal bilgiler:

Yapının en geniş açıklığı 78.1 m, en dar açıklığı ise 58 m'dir. Yapının çatısını delen ve çatı sistemi makas ile birleşen iç içe geçmiş iki betonarme duvar bulunmaktadır. Tasarımdan kaynaklanan bu durum, yapının içinde, çatıyı destekleyen dört ayağın akslarının şaşırtılmasına neden olmuştur. Çatı, 4.70 kN/m² yük taşıyacak kapasitede tasarlanmıştır. Çatıyı oluşturan 8 adet glulam makasın aks aralığı en fazla 9.8 m'dir. En büyük çatı makasının en kesiti 23x125 cm'dir. Çatıyı çevreleyen ve çatı makasları ile birleşen dış halkanın enkesiti ise 16x80 cm'dir.

Çatıda, 18 cm taşıyıcı ısı yalıtımı yapılmıştır ve üzerine, 5 cm yalıtım örtüsü serilmiştir. Çatının üzeri, 10 cm yüksekliğinde, granülometrideki çakıl taşlarıyla kaplanmıştır.

Çizelge 5.15 Wisconsin Visitor Information Center [128].



Yapının dış görünümü.



Yapının dış görünümü.

Yapım yılı: 1991.

Mimarı: P.S.I Design – Marty Petroviak.

Yapı hakkında:

Yılda 80000 kişinin ziyaret ettiği merkeze turistleri çekmek amacıyla inşa edilmiştir. ~ 1000 m²'lik bir kapalı alandır.

Yapısal bilgiler:

Girişi tümüyle cam olan yapının çatı makaslarının merkezi yüksekliği 8.5 m'dir. ~ 10 m açıklık geçen altı adet üçgen başlıklı çatı makaslarının üretiminde kullanılan ağacın %70'i Kuzey Amerika'da yetişmiştir. Güney sarıçamından üretilen makaslar, kurulmadan önce tek katman emprenye edilmiştir.

Çatı kaplamasının yapılabilmesi için ve makasların saçaklarının birleştirilmesi için kısa kiriş elemanlar kullanılmıştır. Geleneksel olarak oluşturulan çatı makasları, betonarme kolon başlarına oturmak-tadır.



Kolon başlarında, çelik plakalar ile makasların birleşimi.

Çizelge 5.16 Palasport di Cefalu, İtalya [129], [130].



Yapının çatı makaslarının içten görünümü.



Çatı makaslarının merkez kısmı ve birleşim detayı.

Yapım yılı: (?).

Mimarı: Antonella Italia, Ing. Roberto Vitale, Arch. Michele Di Giovanni.

Yapı hakkında:

68x50 m genişlikte olan bu yapı, kapalı spor salonu yapısıdır. Çatı makasları, glulam ahşaptan imal edilmiştir.

Yapısal bilgiler:

Çatıyı oluşturan üçgen başlıklı makasların tepe yüksekliği 15 m'ye yakındır. Toplam 6 adet çatı makası kullanılmıştır.

Çatı makaslarının, merkez kısmında alt başlık yerine, çelik kablolar kullanılmıştır. Böylece, makasın iki ucu arasında gergi oluşturulmuştur. Yine, tam merkez kısmında, çatı makasları birbirlerine, glulam ara kirişlerle bağlanmıştır. Bu sayede, hem çatının ağırlığı oldukça azaltılmış hem de statik açıdan yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir.

Kullanılan ahşap, yapının dış çevresine hakim renge uyumlu olması açısından koyu renk bir maddeyle emprenye edilmiştir.

Çizelge 5.17 Chiesa San Giovanna Di Caltanissetta, İtalya [131].



Kilisenin ve çatı sisteminin görünümü.



Çatı makaslarının görünümü ve şantiyede uygun şekilde desteklenmesi.

Yapım yılı: (?).

Mimarı: Intral s.a.s.

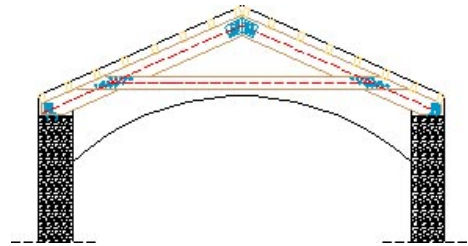
Yapı hakkında:

San Giovanna kilisesinin çatısının onarılması amacıyla üretilen çatı makaslarının şantiyede kurulumu sadece 45 dk. sürmüştür.

Yapısal bilgiler:

Çok sade ve etkili duran 8 çatı makasının geçtiği açıklık 8.5 m ve merkez yüksekliği 2.16 m'dir. makasların aks aralığı 3.5 m olup, glulamdan üretilmiştir.

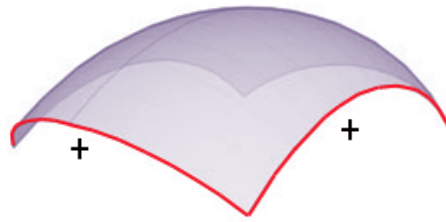
Makasların bulon bağlantılarında FE430B tipi, makasların duvara birleşimlerinde ise FEB44K tipi çelik plaka ve bulonlar kullanılmıştır. Elemanların, kurulumu için 800 kg kapasiteli vinçler kullanılmıştır.



Yenileme çalışmasının modeli.

5.4 KUBBELER

Kubbeler, Gauss Eğrilik teorisine göre pozitif eğrilikli kabuk yapılarıdır¹ (Şekil 5.16). Kubbeler, kuvvetleri membran şartlarına göre karşılar. Buna göre, hem çekme ve basınç hem de kesme kuvvetleri kabuk yüzeyinde dağılır [132]. Dolayısıyla oldukça ince kesitler mümkün olmaktadır. Küre veya küreye yakın yüzeyleri nedeniyle düzlemsel yapılara oranla, ek bir stabiliteye sahip olup, büyük açıklıklar için daha uygun olmaktadır. Eskiden betonarme kabuklar tercih edilirken, günümüzde eğri veya düz çubuk ahşap elemanlar ile inşa edilen ağ kubbe yapılar tasarlanmaktadır. Bu tip yapılarda, birçok düğüm noktası bulunur ve bu sayede eleman boyları küçülür. Sonuç olarak ise hem yapının maliyeti azalmakta hem de kurulum süresi kısalmaktadır. Kubbe biçimi, küre, elips veya parabol geometrilerinden türetilebilir [133]. Ahşap kompozit elemanlarla 200 m açıklığı geçebilen kubbe yapılar yapılabilmektedir.



Şekil 5.16 Kubbenin pozitif eğriliği.

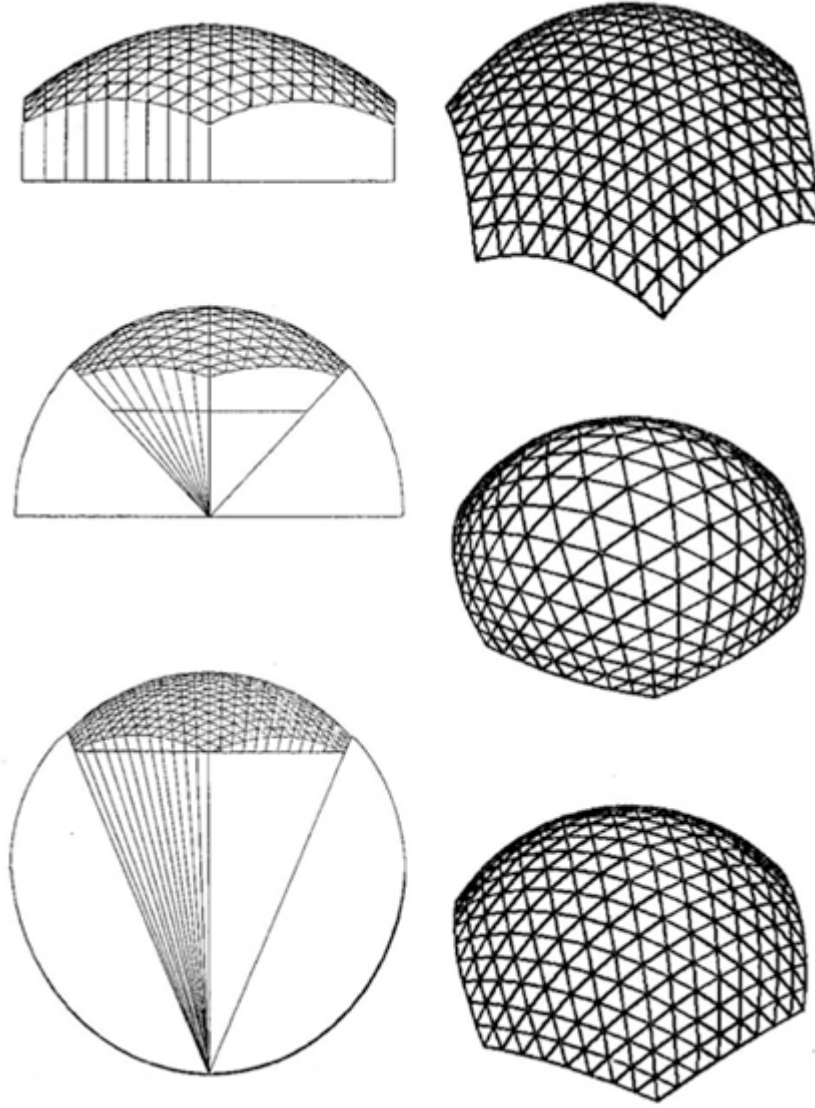
5.4.1 Kubbe Tipleri

Kubbe geometrileri üç tipte sıralanabilir:

- Dik / merkezi / kutupsal izdüşümlü kubbeler:

Bir düzlem ağ geometrisine ait köşelerin, ağ üzerine yerleştirilen eğri bir yüzey üzerine yansıtılması ve sonra bu köşelerin düz çubuklarla birleştirilmesiyle geometrileri oluşturulan kubbelerdir. Eleman tiplerinin minimum olması burada en önemli ölçüttür. Bir ağın düzlemine dikler çizip bunları eğri yüzeyi kesecek kadar uzatma yöntemine kısaca “dik izdüşümü yöntemi” denir. Merkezi ve kutupsal izdüşümlü ise, düzlem ağın köşeleri kürenin merkezi ile veya alttaki kutup noktası ile birleştirip bunun üzerindeki küre yüzeyini kesecek kadar uzatılarak kürenin üzerindeki köşeler bulunur (Şekil 5.17) [133].

¹ Koni ve silindirik dışındaki tüm düzlemsel olan yüzeyler, çift eğriliklidir. Kubbe biçiminde yer alan her bir çizgi, eş eğriliklidir ($K_g > 0$). Bu tür yüzeylere “sinklastik yüzey” denir.

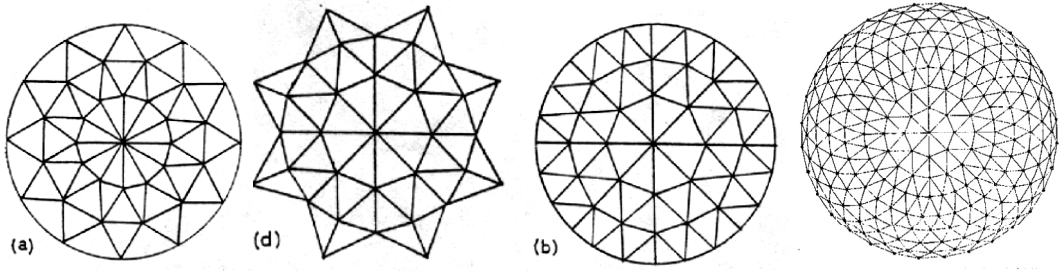


Şekil 5.17 Sırayla; dik projeksiyon, merkezi projeksiyon ve kutupsal projeksiyon yöntemleri [133].

- Radyal (Lamella) kubbeler:

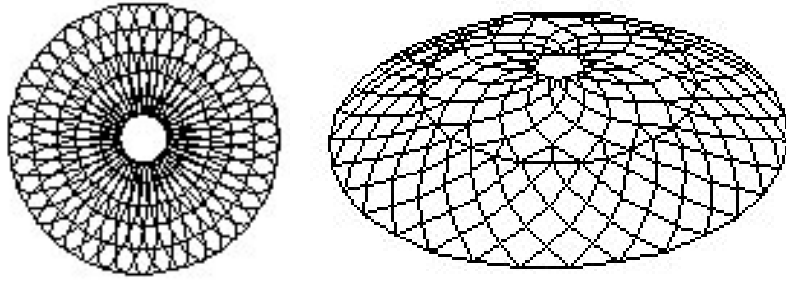
Bir dairesel planın, merkezleri dairenin çemberi üzerinde yer alan, aynı çapta bir daire yayı ile çok sayıda kesilip bu planın dik izdüşümü yönteminde açıklandığı gibi üzerinde yer alan bir küre kapağına yansıtılması ile türetilir. Bu bölünme biçimi planda yaylarla tanımlanmış baklava dilimlerini yaratır.

İzlenebilecek bir diğer yol da bir dairesel planı aynı merkezli, gittikçe küçülen dairelere bölüp ortaya çıkan halkaları aynı sayıda üçgene bölmektir. İki durumda da küre kapağı, enlemlerle şeritlere bölünmüş olmaktadır. Her bir halkada iki tip üçgen alan vardır (Şekil 5.18) [133].



Şekil 5.18 Radyal kubbe tipleri [134].

Tüm yayların kubbe merkezinde birleşmesi yapının kurulumunda sorunlar ortaya çıkarabilir. Bu sorunun çözümü için izlenebilecek iki yöntem vardır (Şekil 5.19). Birincisi, küreyle aynı merkezli bir basınç çemberi öngörmek ve böylece merkezdeki yığılmayı ortadan kaldırmaktır. İkicisi ise, her bir şeritteki üçgen sayısını alt bölgelerde aynı sayıda tutarken merkeze yaklaşıldığı yerlerde yarıya indirerek merkezde kolay detaylandırılabilir kadar çubuk bırakmaktır [133].



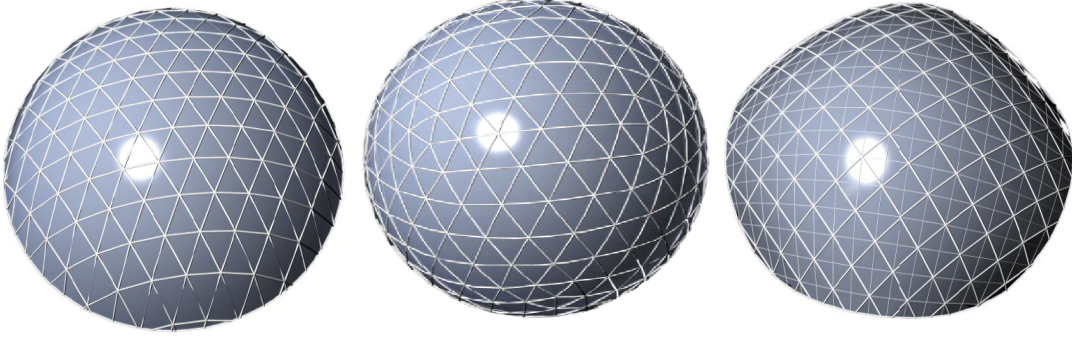
Şekil 5.19 Radyal kubbelerde merkezde eleman sayısını azaltma [135].

- Jeodezik kubbeler:

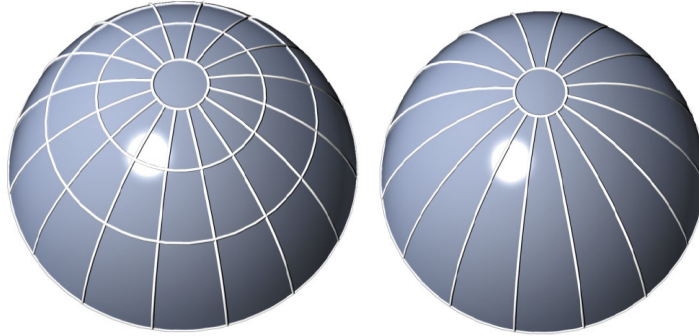
Düzlem üzerinde iki noktayı birleştiren en kısa yol nasıl ki bir doğru ise, küre üzerindeki iki noktayı birleştiren sonsuz sayıdaki yayların en kısıması bir jeodezik yaydır. Jeodezik kubbelerde, yüklerin en kısa yoldan komşu elemanlara oradan da temellere homojen olarak aktarılabilmesi sağlanmaktadır. Jeodezik bölme yönteminde üçgenin üç eksenli simetrisinden yararlanılarak eleman tip sayısı azaltılabilmekte; böylece, imalat, nakliyat ve montaj maliyeti azalmaktadır. Jeodezik kubbelerde, “kapladığı alan/ kubbe ağırlığı” oranı diğer yapı sistemlerine göre en çok olan yapılardır. Kullanılan elemanlar narin görünse de yapısal olarak oldukça güçlüdür. Düğüm noktalarından geçen kuvvet doğrultuları sayısına göre iki yönlü ve üç yönlü düzenlemeler söz konusudur [133]:

- İki yönlü kubbelerde düğüm noktalarında 4 çubuk birleşir ve bu ağlar genellikle dörtgen modüllerden oluşur,
- Üç yönlü çubuk ağı kubbelerinde her düğüm noktasında 6 çubuk birleşmektedir. Üç yönlü ağların ana modülleri üçgenlerdir.

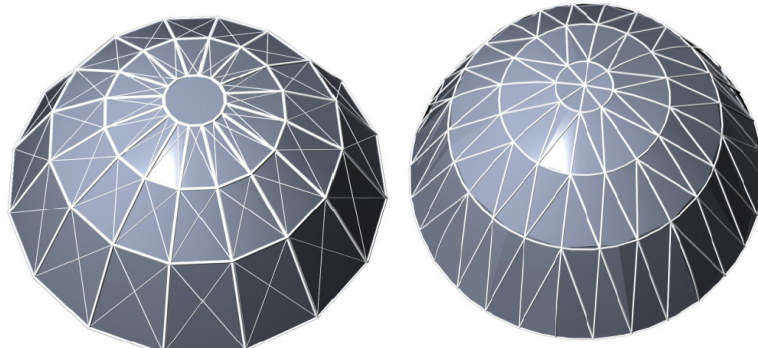
Şekil 5.20’de iki ve üç yönlü jeodezik kubbeler ile tüm kubbe geometrileri gösterilmiştir.



Jeodezik kubbe modelleri.



Eğri kirişlerle oluşturulabilecek kubbe modelleri.



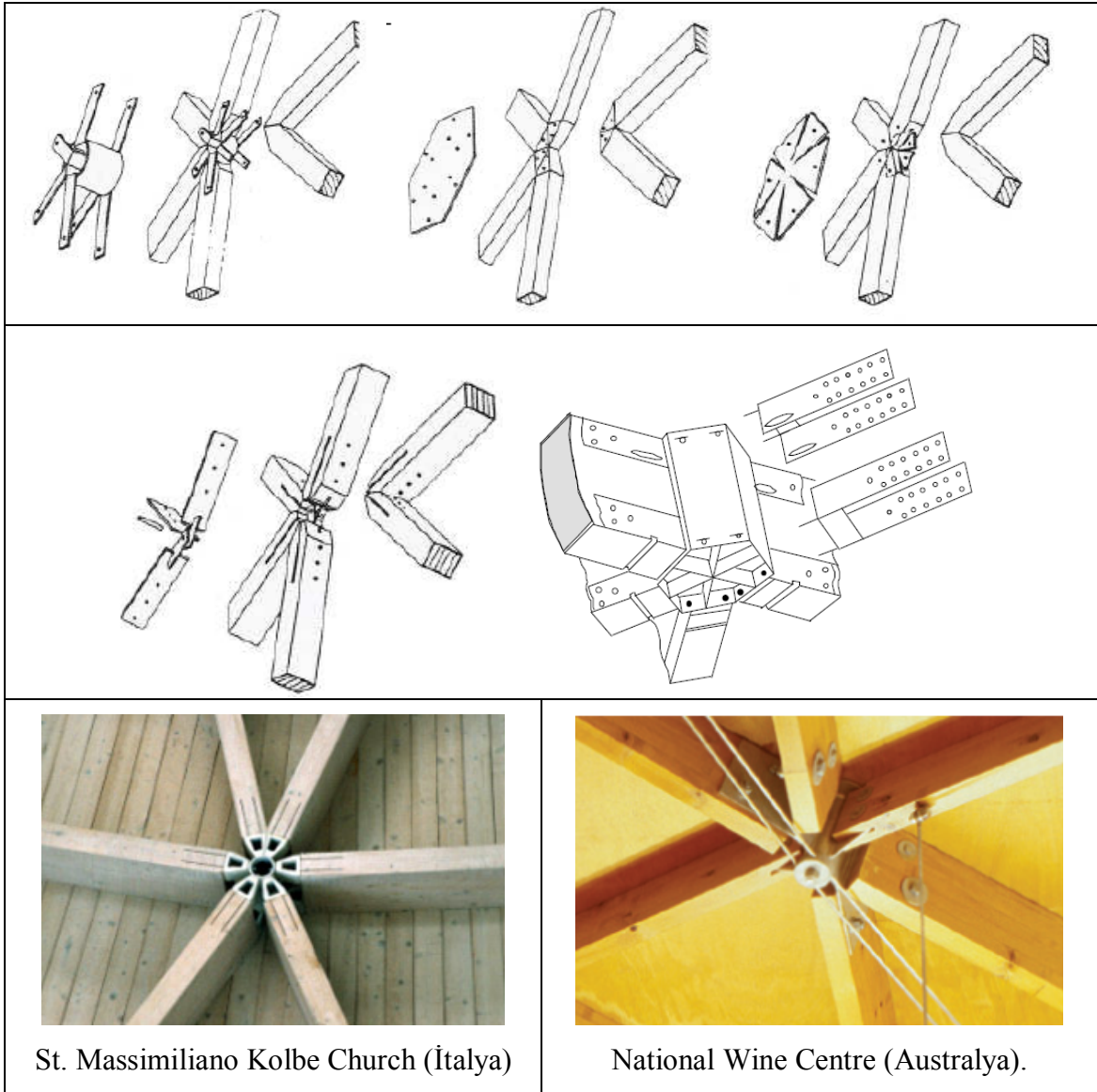
Schwedler kubbe- Kiewitt kubbe modelleri.

Şekil 5.20 Çeşitli kubbe geometrileri [136].

5.4.2 Kubbelerde birleşim detayları

Kubbe tasarımı, elemanların bağlantıları çok önemlidir. Ahşap elemanlar birbirine çelik plaka, halka, çivi ve cıvata gibi çelik bağlantılarla bağlanır. Cıvatalı bağlantılar, kuvvetlere karşı plakalar ve halkalar kadar dayanıklı değildir. Kubbelerde yapılabilecek bazı birleşim detayları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Kubbelerde birleşim detayları [137], [138].



5.4.3 Yapı Örnekleri

Dünyada yapısal ahşap kompozitler kullanılarak oluşturulmuş kiriş sistemlerin birçok örneği bulunmaktadır. Tez kapsamında dört örnek verilmiştir. Bunlar,

- Tacoma Dome, (Çizelge 5.19),
- Superior Dome, (Çizelge 5.20),
- Olympic Exhibition Centre, (Çizelge 5.21),
- Las Arenas, (Çizelge 5.22).

Çizelge 5.19 Tacoma Dome, Washington, ABD [139], [140].



Yapım yılı: 1982.

Mimarı: McGranahan, Wendell
Rossman , Schneider & Gadberry.

Yapı hakkında:

161.5 m açıklık geçen ve 48 m yüksekliğe sahip bu yapı, dünyanın ikinci en geniş ahşap yapısıdır. Yapı, birçok farklı spor aktivitesine ev sahipliği yapmaktadır. Kubbesi, küre kapağı formundadır. Yapı tam yarım-küre formunda olsaydı, hem gereğinden daha yüksek bir yapı hem de zemine doğru eleman boylarında farklılıklar olacak idi.

Yapısal bilgiler:

Kubbe kurulumunda kullanılan glulam eleman kesitleri¹, 170-220 mm arası genişlik ve 750 mm yüksekliğe sahiptir. Hepsi 15 m boyundadır. Kubbede, zemine oturan son sıra üçgen birimlerden, diğer her eleman altıgen birimlerden oluşmaktadır. Yani, her bir birleşim noktasında 6 eleman bulunmaktadır.

Kubbe üzeri, poliüretan malzeme ile kaplanmış, temeli öngermeli beton-dan yapılmıştır.

¹ Douglas köknarından üretilmiş.

Çizelge 5.20 Superior Dome, ABD [139], [141].



Yapının dış görünümü.



Yapının elemanlarının birleşimlerinin içten görünümü.

Yapım yılı: 1991.

Yapı hakkında:

NMU¹, nin spor kulübüne ait olan bu yapı, hala günümüzde dünyanın en geniş açıklıklı ahşap yapısıdır. 8000 kişi kapasitelidir. Tacoma Dome ile aynı biçimdedir. Merkezde 49 m yüksekliğe sahiptir ve neredeyse 14 katlı bir bina yüksekliğine yakındır. Tam genişliği 163.4 m olup 20 900 m² alanı kaplamaktadır.

Yapısal bilgiler:

Jeodezik kubbe esasına göre tasarlanmıştır. Toplam 781 adet glulam² elemandan oluşmaktadır.

Yapının bulunduğu şehirde özellikle kış şartlarının beklenmedik şekilde sert geçmesinden dolayı, 0.1 m² için 293 kg/m² kar yükü³ ve 130 km/saat şiddetinde rüzgâra dayanacak şekilde tasarlanmıştır.

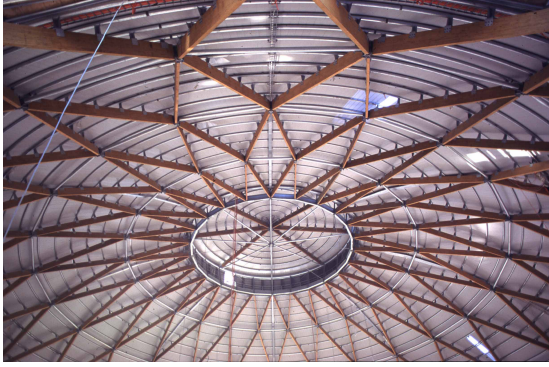
Yapının inşası iki aşamada olmuştur. Tümüyle ve sadece kubbenin kurulumunu içeren ilk aşama Ağustos 1991'de, soyunma odaları, ofisler, ıslak hacimler gibi iç mekânların tamamlanmasını içeren ikinci aşama da Mayıs 1995'te tamamlanmıştır.

¹ Northern Michigan University.

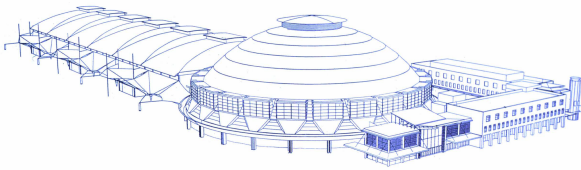
² Douglas köknarından üretilmiş.

³ 1 ft² için 2.87 kPa'dan çevrilmiştir.

Çizelge 5.21 Olympic Exhibition Centre- Sydney, Avustralya [142].



Kubbenin çekme çemberi.



Kubbenin kurulumu ve birleşim detayı.

Yapım yılı: 1997- 1998.

Mimar: Mortlock and Wooley.

Yapı hakkında:

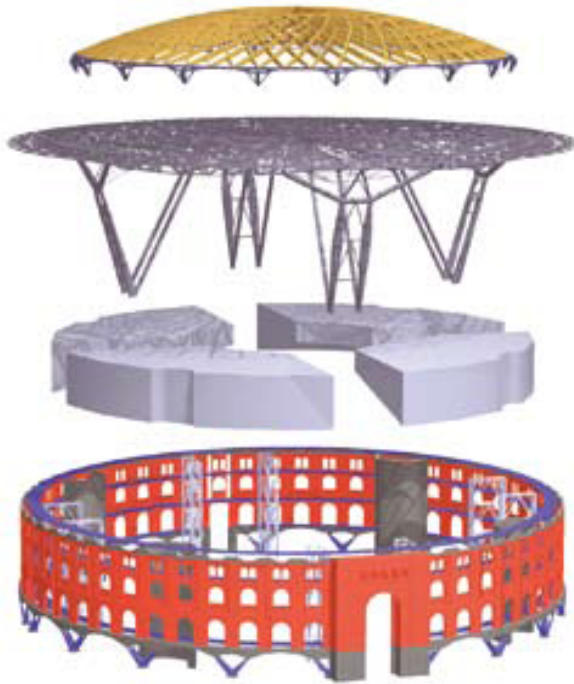
Kubbe yapısı, Olimpik Sergi Merkezi'nin çatısını oluşturmaktadır. Ekonomik nedenler ve çevresel faktörlerden dolayı, kubbe, glulam malzemeden tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Olimpik Sergi Merkezi, iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, 97 m açıklıklı kubbe yapısı ve salondur. Yapıda, toplamda, kubbe ve diğer kapalı kısımlar dahil olmak üzere 140000 m² alan ve 10000 araçlık park alanı bulunmaktadır.

Yapısal bilgiler:

Kubbe, jeodezik yapıdır ve basınç elemanlarında Radiata çamı¹, destek elemanlarında çelik malzeme kullanılmıştır. Projelendirmede esas alınan yüklere karşı sağlam bir yapı oluşturmak için, kubbeyi oluşturan glulam elemanlar, tepeden 800/130 mm enkesitle başlayıp, zemine doğru kalınlaşmaktadır. Tüm kubbeye, çelik kablolarla çaprazlama yapılmış ve dörtlü birleşim yapan glulam elemanların, açıklıklarının fazla olduğu yerlerde, deformasyonların engellenmesi için çelik boru profiller kullanılmıştır. Yine, glulam elemanlar betonarme ayağa oturmaktadır.

¹ Yeni Zelanda ve Avustralya'da özel olarak yetiştirilmektedir. Avustralya standartlarına göre, fırınlanmış olarak dayanım derecesi F11 sınıfıdır. %12 nem içerik oranına göre yoğunluğu 545 kg/m³; boyuna büzülmesi %5.1, radyal %3.4'tür. Emprenye edilmesi gerekir, çünkü böcek saldırılarına karşı çok zayıftır.

Çizelge 5.22 Las Arenas, Barselona, İspanya [143].



Yapının strüktür sistemi.



Kubbenin inşasından bir görünüm.

Yapım yılı: 2000 - (devam ed.)

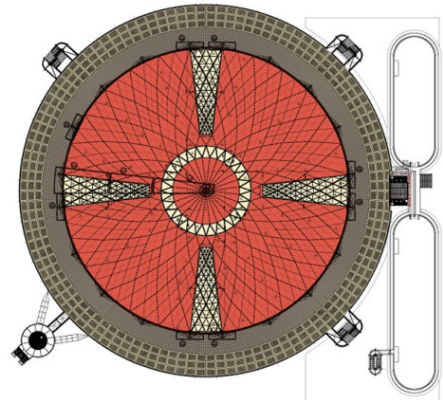
Mimarı: Rogers Stirk Harbour + Partners.

Yapı hakkında:

Yeni tasarlanan projede sadece eski yapının dış duvarları kalmış, içine yepyeni bir yapı kurulmuştur. Tarihi dış duvarlar, iç kısımdan çelik elemanlarla desteklenmiş ve sağlamlaştırılmıştır. Yeni yapı, genel olarak çelik ve betondan inşa edilmiş olsa da, oluşturulan panoramik çatı katı, ahşap kubbe sistemiyle oluşturulmuştur.

Yapısal bilgiler:

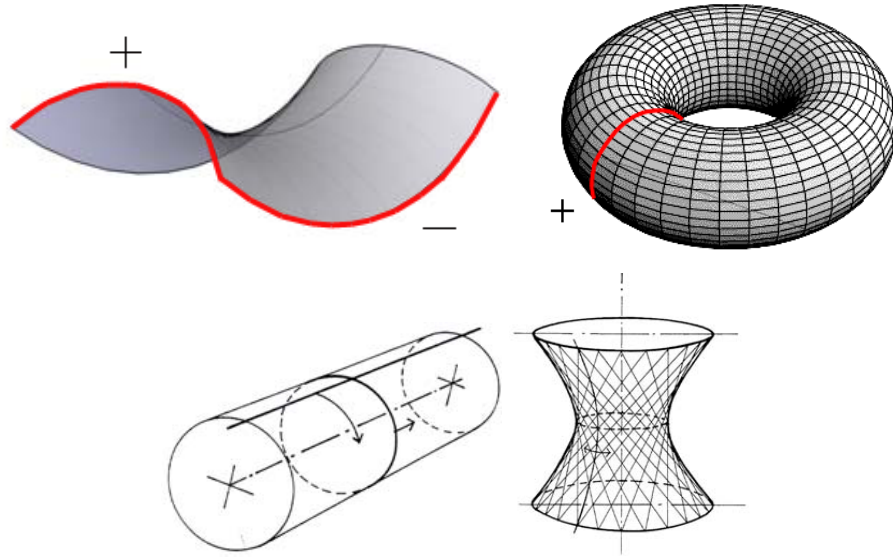
Çatı, lamella kubbe olarak 76 m çevreli olarak tasarlanmıştır. Merkezden 15 m yarıçap mesafede bir çember oluşturulmuş ve merkezdeki birleşimler azaltılmıştır. Köknar ağacından üretilmiş glulam elemanlar kullanılmıştır.



Yapının lamella kubbesi.

5.5 IZGARA KABUK SİSTEMLER

Kabuk, uygulanan yüklere, kendi doğal şekli nedeniyle kazandığı dayanımı ile karşı koyar. Çekme, basınç ve kesme kuvvetleri, kabuk yüzeyinde dağılır; bu nedenle, kabuklar yapısal olarak ince kesitlerle oluşturulabilmektedir. Kabuk yüzeyler, kubbeler bölümünde bahsedildiği gibi, Gauss teorisine göre nitelendirilebilir. Buna göre, çift eğrilikli yüzeyler, $K_g < 0$ olarak ters eğrilikli (antiklastik) veya $K_g > 0$ olarak eş eğrilikli (sinklastik) tasarlanabilir (Şekil 5.21). Ters eğrilikli tasarlandığında, negatif eğrilikler çekmeye, pozitif eğrilikler basınca çalışır [133], [140]), [144].



Şekil 5.21 $K_g < 0$ ve $K_g > 0$ eğrilik örnekleri ve yüzeylerin eğriliklerinin değiştirilmesi [140].

5.5.1 Genel

Eğer bir kabukta düzgün sıralı boşluklar bırakılırsa, geride kalan düzgün çizgilerden oluşan yapıya ızgara kabuk denir [145]. Izgara kabuğun şekli, öncelikli olarak sağlamlık gereksiniminden doğmuştur; kabuğun çift eğrilikli olması, geometrik sağlamlık getirmekle beraber, asimetrik yüklere karşı dayanıklılık göstermesinin en temel nedenidir [132]. Izgara kabuk yapılar, çok sayıda birleşim noktasına sahiptir.

Izgara kabuk yapıların kurulum aşamalarındaki elemanların yükseltme-itme-döndürme gibi aşamalar sırasında deforme olma olasılıkları yüksektir. Çok geniş alana yayılan ve eğrilikleri yönlere ve değerlerine göre farklılık gösteren kabuklarda yerinde dökme beton uygulaması oldukça zordur. Çelik malzeme tercih edildiğindeyse elemanların hesaplamalara göre tam ve kusursuz olarak fabrika ortamında üretilmesi gerekir. Ancak,

ahşap malzeme, hem fabrika ortamında rahatça üretilebilir hem de kurulum sırasında kırılmadan esneklik gösterebilir. Ayrıca, ahşap, henüz bağlantıları sabitlenmemişken kendi eğrisel formunda stabil kalabilir ve böylece yapının diğer taşıyıcı elemanları da kurulabilir. Bu nedenle, ahşap malzeme seçimi ızgara kabuk yapılar için idealdir [144].

Betonarme kabuklarda yükün etkidiği yönün önemi yoktur ancak ahşap ızgara kabuklarda yüklerin ahşap elemanların boyu yönünde gelmesi gerekir [140]. Ayrıca, ızgara kabuklar sadece elemanların vidalanması ile stabil bir özellik kazanmaz, ek olarak ızgaraların köşegenleri arasında çaprazlamalar yapmak gerekir [144], [140].

Izgara kabuk yapılar;

- Geçtikleri açıklıklara oranla sahip oldukları ince kesitler nedeniyle oldukça zarif ve etkileyici görünür.
- Kapladıkları alana oranla, diğer sistemlere göre daha hafiftir.
- Izgaraların ara boşlukları sayesinde yapının dış ortama karşı şeffaflık kazanması mümkündür.
- Kurulum sırasında, ek olarak hesapta olmayan işlemler gerektirmediğinden maliyet açısından da uygun olduğu söylenebilir. Diğer malzemelerle üretilen yapılar oranla kurulumu oldukça hızlı gerçekleştirilir [144].
- Ancak her ızgara yapı kendine özgü olacağından bu alanda uzmanlık gerektirmektedir.

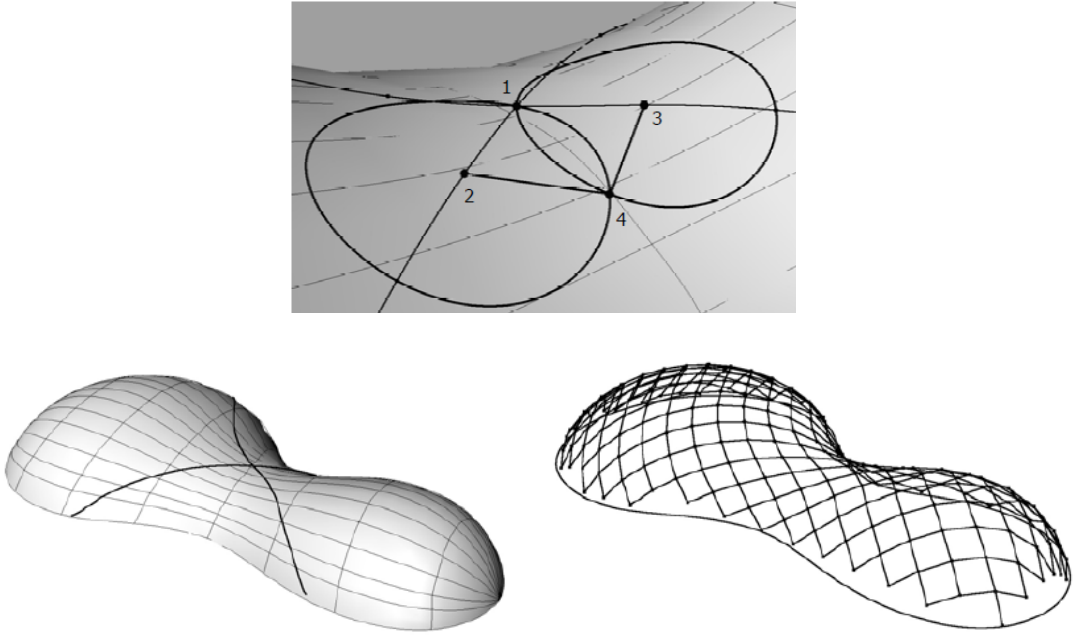
Ahşap ızgara kabuk yapıların;

- Genel olarak, eğrisel ahşap kirişlerden oluştukları söylenebilir. Bu elemanlar bir araya gelerek tabakalar oluşturur.
- Bu tabakalar birbirlerine çivi veya vida ile sabitlenir ve buralarda tutkal kullanılmaz. Her bir tabaka, kendi yönü boyunca sürekli olarak devam eder.
- Bu tabakalar lif yönünde (boyuna doğrultuda) eğilmeye çalışmalıdır. Diğer yönde bir kuvvetle karşılaştıklarında kolayca kırılabilirler.

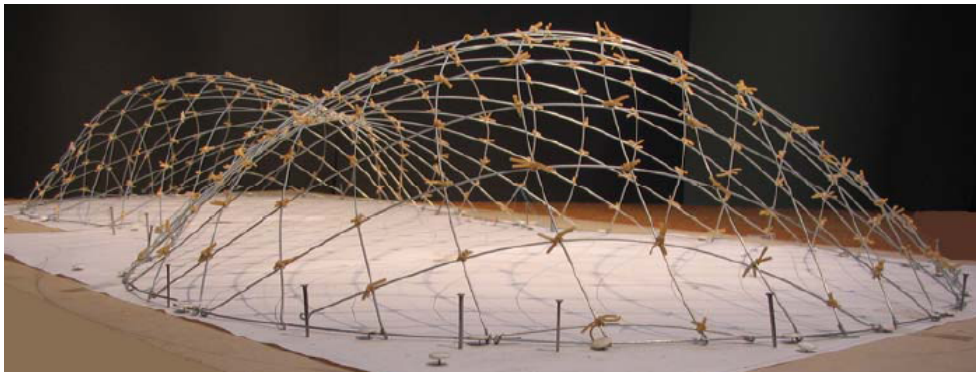
Yükü membran şartlarına göre karşılayan birçok yapı biçimi vardır. Bu şekiller çoğu zaman geometrik eşitlikleri bilinen şekillerle sınırlanır. Daha karmaşık şekiller için bazen bir matematikçinin bile projeye dahil edilmesi gerekebilir [146]. Bu şekilleri üç sınıfa ayırabiliriz: küresel ve silindirik, tek eğrilikli olanlar ve çift eğrilikli (serbest-

biçimler). Serbest biçim oluşturulurken yararlanılan tüm çizgiler, jeodezik çizgilerdir. Gelişigüzel bir yüzey üzerinde belirlenecek olan ızgaraların kesişim noktalarının tespit edilmesinde izlenen yol şöyledir:

Izgaraların kesişimlerinin belirlenmesi için yüzeyde alınan iki dairenin merkez noktaları ile dairelerin ikişer kesişme noktası oluşur (Şekil 5.22). Bu dört nokta bir “ızgara” oluşturur [140]. Bu yöntemle oluşturulmuş bir ızgara kabuk maketi Şekil 5.23’te gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Bilgisayar ortamında ızgaralarla oluşturulan bir sonlu eleman ağı örneği modeli [140].



Şekil 5.23 2,5 birim aralıklı ızgaralarla oluşturulan bir modelin tel-maketi [140].

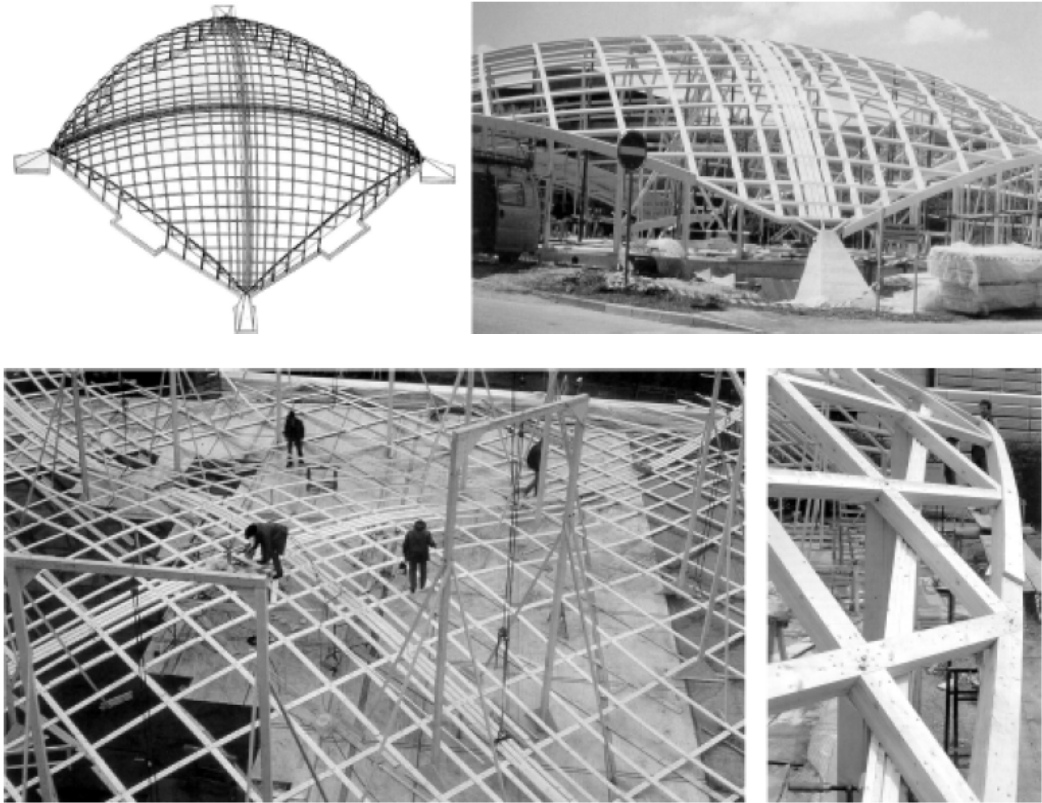
Ahşap kompozitlerle oluşturulan ızgara kabukları tek tabakalı ve çift tabakalı olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Ahşap ızgara kabuk örneklerine bakarsak, tek tabakalı olanlar

oldukça fazladır. Çift tabakalı olanlar ise nadirdir. Bunun sebebi, biçiminin karmaşıklığı ve her projeye öznel yaklaşılması gerekliliğidir.

- Tek tabakalı ahşap ızgara kabuk yapılar:

İlk bakıldığında kubbelerle benzerlik gösterir; ancak, tam anlamıyla bir ızgara kabuk oluşturabilme imkânı verdiğinden kubbe formundan daha farklı geometrik şekillere ulaşmaya olanak sağlar. Özellikle son 10-15 yıl içerisinde ahşap teknolojisinin çok gelişmesi ile daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Böylece, her proje için hesaplanan kesitler istenen boyutlarda ve adette üretilmektedir. Gerekirse her parça üretim sırasında farklı eğim-eğrilik ile üretilip, numaralandırılıp, şantiye ortamında kuruluma hazır hale getirilmektedir.

Tek tabakalı ahşap ızgara yapının ilk örneklerinden biri İsviçre Lozan'daki sergi pavyonu Polydome'dur (Şekil 5.24). Bu yapı, kesik küre kapağı şeklindedir ve yaklaşık 25x25m'lik kare bir plana ve merkezinde 7m yüksekliğe sahiptir. Ahşap elemanların uzunluğu planda 25 m olmasına karşın sahip olduğu eğrilik nedeniyle gerçekte 27.5m'dir [147].



Şekil 5.24 Polydome, İsviçre, 1991 [147].

- Çift tabakalı ahşap ızgara kabuk yapılar:

Çift tabakalı ızgara sistemle oluşturulabilecek açıklıkların potansiyeli oldukça yüksektir. Bu tip yapıların geçmişine bakıldığında, dünyada oldukça ünlü olan ve sadece ahşapla inşa edilmeleri ile öne çıkan üç yapı görülür; Almanya’da Multihalle, İngiltere’de Downland Müzesi ve Savill Garden çatıları. Bu üç yapı, normal ahşaptan inşa edilmiştir ancak, ahşap ile oluşturulabilecek çift tabakalı ve çift eğrilikli yapı sisteminin ilk uygulamalarıdır.

Bu yapı sisteminin tasarlanmasından üretilmesi ve kurulmasına kadar, günümüzde ahşap kompozitlerle inşa edilen çift tabakalı ahşap ızgara kabuk yapılara yol göstermişlerdir. Bu gün hala aynı birleşim noktası detayı ile sistem kurulmaktadır. Tek fark, artık bu uzun çitaların, LVL veya glulam gibi ahşap kompozitlerle üretilmesidir. Çift tabakalı ızgara kabuk yapılarda, genel olarak, elemanlar önce düz bir platformda kurulur ve sonra yükseltme-itme-biçimini bozma yöntemleriyle projedeki halini alır.

Çift tabakalı ahşap ızgara kabukların bilgisayar ortamında tasarlanmasında, tasarımcının etkiyeceği faktör, her bir jeodezik çizginin başlangıç ve bitiş noktası ile çizgilerin birbirine bağlanacağı noktayı saptamaktır [146]. Tasarımcının bu belirtilenler dışında, ızgara topolojisi sonucu üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur (Şekil 5.25).

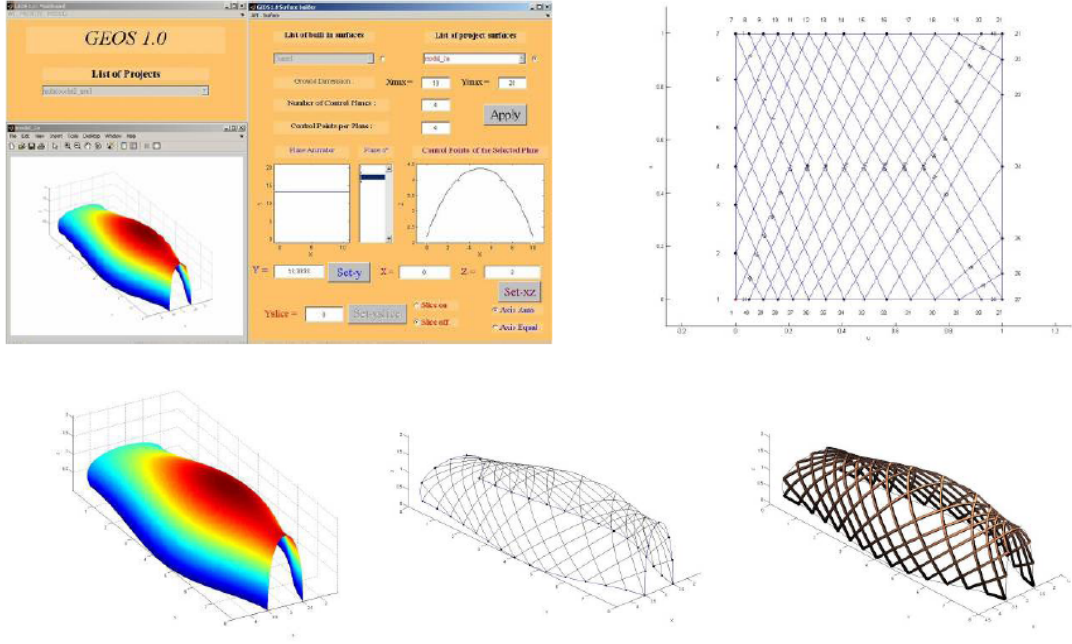


Şekil 5.25 Bir çift tabakalı çift eğrilikli sistemin bilgisayar ortamında oluşturulması [145].

EPFL¹’de yapılan bir çalışmayla serbest biçim yüzeylerde jeodezik çizgilerin oluşumunda kullanılabilecek bir yazılım hazırlanmıştır. Bu yazılımda, hem jeodezik çizgiler ızgara olarak hesaplanmakta hem de bilgisayar kontrollü kesim işlemleri için gerekli tüm geometrik bilgiyi sağlanmaktadır. Programın arayüzü ve bir uygulama örneği Şekil 5.26’da verilmiştir [146].

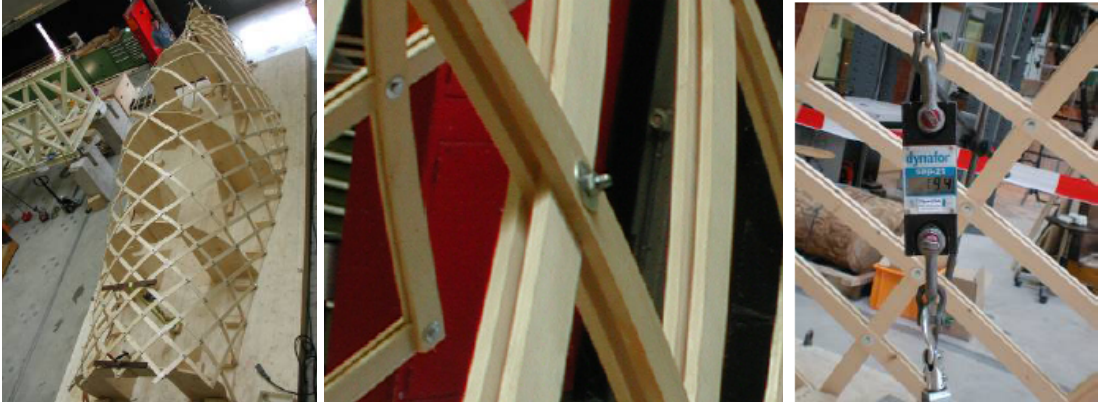
¹ École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Pirazzi ve Weinand, Ahşap Laboratuvarı (IBOIS) - Geometri Kürsüsü (GEOM) ile ortaklaşa.



Şekil 5.26 Çalışmada kullanılan programda oluşturulan bir çift eğrilikli sistem [146].

Oluşturulan prototipin bu yazılımda statik tasarımı yapılmıştır. Prototipi oluşturan ince ahşap elemanlar 12x60 mm enkesitli olup, İsviçre alaçamından üretilmiştir (Şekil 5.27). En uzun ahşap elemanın boyu 6740 mm ve en kısa elemanın boyu da 160 mm'dir. Boyutlardan dolayı, parmak-geçme birleşimine gerek duyulmamıştır. Toplamda 792 parça, bu yazılımdan dxf-formatında alınan veriler sayesinde bilgisayar kontrollu olarak kesilmiştir [146].



Şekil 5.27 Oluşturulan prototip ve nokta detayı [146].

Sonuç olarak, bu çalışmayla, yazılım ile hesapladıkları serbest biçimli bir jeodezik ızgara kabuğun, pratiğe dönüşmesi oldukça tatminkar bulunmuştur.

5.5.2 Yapı Örnekleri

Kompozit ahşap elemanlarla inşa edilmiş ızgara kabuk yapıların dünyada birçok örneği bulunmaktadır. Bunlarda tek tabakalı ızgara kabuk yapılara örnek olarak,

- Serpentine Galeri Pavyonu, (Çizelge 5.23),
- Great Burgh House, (Çizelge 5.24),
- Napier University, (Çizelge 5.25),
- Bad Sulza Thermal Baths, (Çizelge 5.26).

Ahşap kompozitlerle üretilmiş çift tabakalı ızgara kabuk yapılara örnek olarak ise;

- Mannheim Bundesgartenschau Multihalle, (Çizelge 5.27),
- Weald and Downland Gridshell, (Çizelge 5.28),
- Savill Garden, (Çizelge 5.29),
- Wallon Forestry Centre, (Çizelge 5.30), gösterilmiştir.

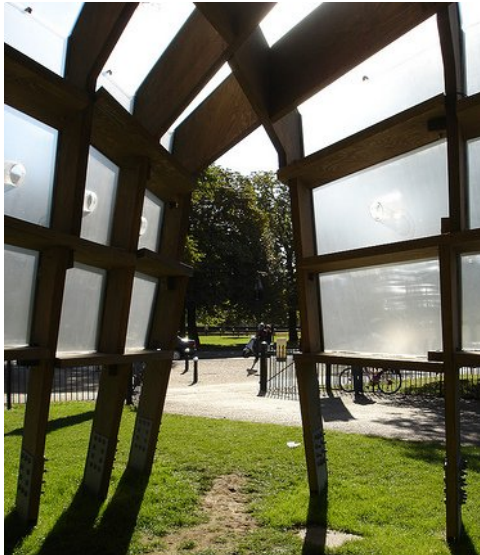
Çizelge 5.23 Serpentine Galeri Pavyonu, Londra, İngiltere [87].



Yapının dış görünümü.



Grid sistem detayı.



Yapının zemin detayı.

Yapım yılı: 2005.

Mimarı: Alvaro Siza, Eduardo Suoto de Moura.

Yapı hakkında:

Serpentine Galerisi' nin ek yapısı olup, sergi ve gösteri pavyonudur. Toplam alanı 400 m²'dir.

Yapısal bilgiler:

Bu yapıda her bir eleman ayrı ölçülerde üretilmiş, farklı açılar ve noktalarda birleştirilmiştir. Yüksek dayanım ve boyutsal stabilite için Fin alaçamından üretilmiş LVL¹ kompozit ahşap malzeme kullanılmıştır. Malzeme seçimi uzman olan üretici firma tarafından yapılmıştır. Basit olarak, ahşap elemanlar dikdörtgensel grid oluşturmaktadır. Çatının grid ahşap elemanlarının araları, polikarbonat esaslı şeffaf panellerle kaplanmıştır. Her şeffaf panelin tam ortasında güneş enerjisiyle çalışan ufak ampuller yer almaktadır. Bu kaplamalar yerden ortalama 1.3 m yüksekte başlamaktadır.



Güneş enerjisi ile çalışan ampuller.

¹ Kerto-Q (Finnforest Merk).



Yapının dış görünümü.



Çatı sisteminin görünümü.



Köşe kolonlar ve çatı kaplamaları ile iç mekan görünümü.

Yapım yılı: 2003.

Mimarı: Eric Cole & Partners.

Yapı hakkında:

Surrey’de yer alan bu yapı, davet etkinlikleri ve toplantılar için tasarlanmıştır. Aynı çatı yapısının üç kere tekrarlanması ile oluşturulmuştur.

Yapısal bilgiler:

Çatının ızgara yapısı, 2000 adet uzun ahşap kiriş kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan ahşap türü LVL¹ olup eleman yüksekliği L/40 oranıyla hesaplanmıştır. Çatının kurulum sırasında, mekanik olarak desteklenmesine gerek olmamıştır. Çatı sisteminin özellikle köşelerinde, kenar ara kolonlara göre daha büyük enkesitli kolonlar kullanılmıştır. LVL’nin mekanik özellikleri nedeniyle kesit boyutlarının azaltılabilmesi, çatının hafif olmasını sağlamıştır. Çatının ızgara sisteminin üzeri yine 27 mm kalınlıktaki LVL panellerle, birbiri üzerine binme yapacak şekilde kaplanmıştır.



Köşe kolon detayı.

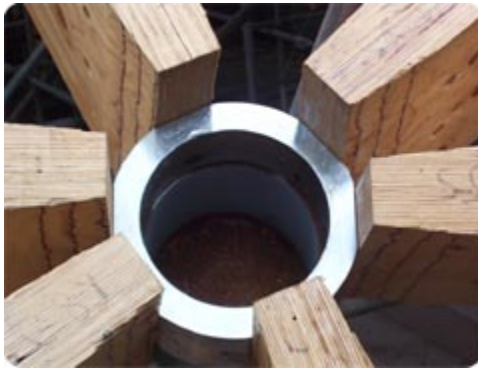
¹ Kerto LVL (Finnforest Merk).



Çatının teknik çizimi.



Çatının teknik çizimi.



Sistem detayı.

Yapım yılı: 2003.

Mimarı: Building Design Partnership.

Yapı hakkında:

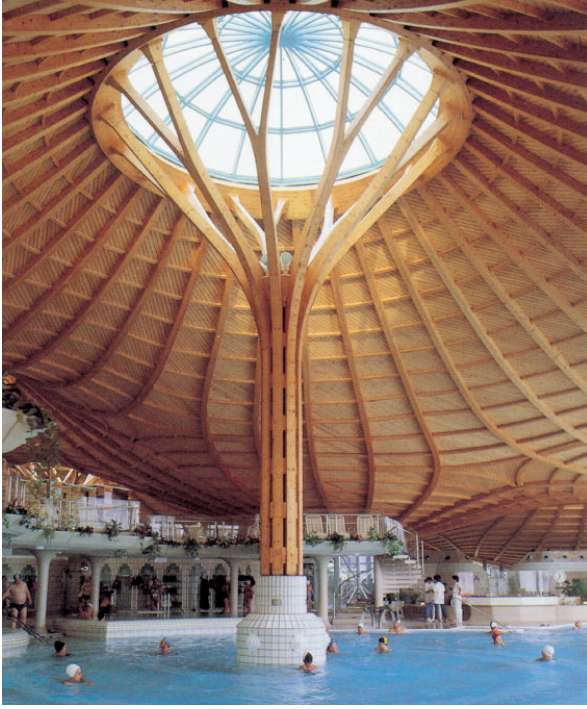
Bu yapı, jeodezik ilkelerine göre eliptik yumurta biçiminde tasarlanmıştır. 27 m uzunluğa, 20 m genişliğe ve 11 m yüksekliğe sahiptir. Toplam alanı 740 m²'dir.

Yapısal bilgiler:

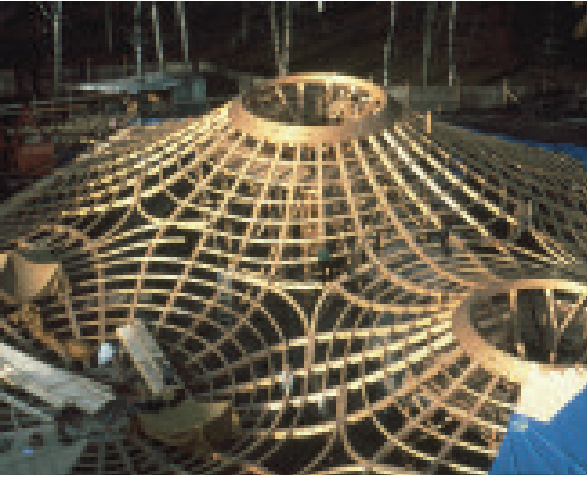
Taşıyıcı sistemin kurulumunda 480 adet ahşap eleman kullanılmıştır. Bu elemanlar, 75x400 mm enkesitli olup LVL'den üretilmiştir. Bu sistemin üzeri, OSB'lerden oluşturulmuş üç tabakalı levhalarla kaplanmıştır. Isı ve su-buhar yalıtımı, yapının biçimine uyum sağlaması açısından sadece 100 mm kalınlık oluşturacak şekilde püskürtme tekniği ile sağlanmıştır.

Daha sonra bunların üzeri titanyum çatı kaplama levhalarıyla kaplanmıştır. Tüm sistemde 200 adet çelik silindirik birleşim elemanı kullanılmıştır. Çatı sisteminin üçgen ızgaralarla oluşturulması nedeniyle bir bağlantı noktasında 6 parça birleşmektedir.

Grid düzen, iç mekânda görülebilir bırakılmıştır. Ek olarak, araları 12 mm kalınlığında ahşap levhalarla kaplanmıştır. Çelik birleşim elemanlarının iç ortam neminden etkilenmemeleri için, boş orta kısımları kapatılmıştır.



Glulamdan üretilmiş ağaç kolon.



Çatı sistemi.



Yapının dıştan görünümü.

Yapım yılı:1987.

Mimarı: Geier & Geier.

Yapı hakkında:

Yapı glulam teknolojisiyle inşa edilmiş ilk yapılardan biridir. Özellikle, ahşabın doğal olarak, alkali ve korozyona dayanıklı olması, kapalı havuz yapılarında tercih edilmesinin nedenidir.

Yapısal bilgiler:

Yapının çatı sistemi, 5 ağaç kolon tarafından taşınmaktadır. Bu kolonlar glulamdan yapılmış olup, 9.1-11.5m arası yüksekliktedir. Çatının tüm alanı 2500 m²'dir. Ağaç kolonların her birinin tepesinde 6-8m çaplı yine glulam ahşaptan üretilmiş çekme çemberi bulunmaktadır. Çatının ağ örgüsünü oluşturan 200x205mm en kesitli glulam kirişler, bu çemberlere bağlanmaktadır. Çembere asılan kirişlerin ağırlığını kolonlar zemine iletmektedir.

Ana kirişlerin aralarında, 80 cm aralıkla 80x80 mm veya 120x140 mm en kesitli latalar yerleştirilmiştir.



Çatı ızgarasını oluşturan elemanların görünümü.

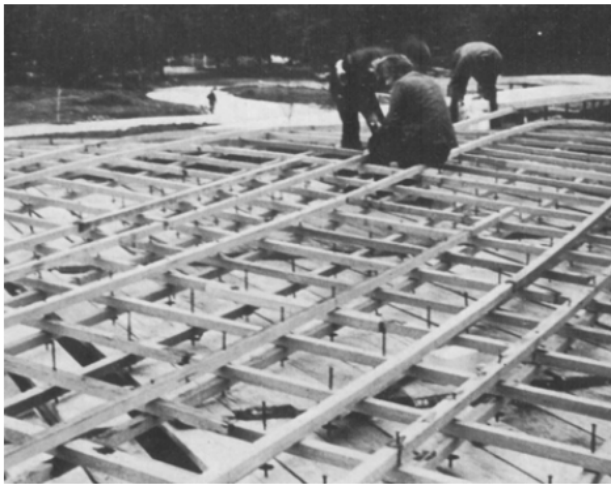
Çizelge 5.27 Mannheim Bundesgartenschau Multihalle, Mannheim, Almanya [144], [132], [150].



Yapının dış görünümü.



Yapının içten görünümü.



Yapının kurulum aşaması.

Yapım yılı: 1975.

Mimarı: Mutscher & Partners, Frei Otto, Buro Happold.

Yapı hakkında:

Frei Otto tarafından, 1975'te tasarlanmıştır. Aynı eğriselliğe sahip iki ağ kabuğun birleşmesine dayanır. Kabuğun kapladığı alan 7400 m²'dir; kimi yerde 60 m açıklık geçmekte ve 20 m yüksekliğe ulaşmaktadır.

Yapısal bilgiler:

Bu yapı, tasarlandığı zaman bilgisayar teknolojilerinin çok sınırlı ve yavaş olmasından dolayı, Frei Otto, biçim-bulma modeli olarak asılı zincirleri kullanmıştır. İlk önce, çatının 1:16 ölçekli maketi sonra da tüm yapının 1:60 ölçekli maketi yapılmıştır. Asılı model, kabuğun başaşağı halini yansıtıyordu. Yapılacak olan her bir hata, maket üzerinden 100 katı hesaplandığı ve doğrudan uygulamaya konulacağı için, projenin kusursuzluğunu hatta yapımını olumsuz etkileyebilirdi. Başlangıçta, ahşap elemanlar düz altlık oluşturacak şekilde zemine serilmiştir. Daha sonra, kule iskeleler yardımıyla yapı yukarı kaldırılmıştır. Mannheim, 33 000 bağlantı noktasına sahiptir. Oluşturulan grid kabuk 50x50 mm'lik ahşap elemanlardan oluşmaktadır ve üzeri polyester membran ile kaplıdır.



Yapının çatısının içten görünümü.



Yapının bilgisayar destekli tasarımı.



Çatının tamamlanmaya yakın görünümü.

Yapım yılı: 1996- 2002.

Mimarı: Edward Cullinan Architects, Buro Happold.

Yapı hakkında:

Yaklaşık 202 342 m² lik bir alanda yayılmıştır ve yılda yaklaşık 140000 ziyaretçi buraya gelmektedir. Bu yapı, İngiltere'deki ilk çift tabakalı ızgara kabuk yapıdır. Üç bombeli kum saati şeklindeki görünümü ile ızgara kabuk, 50 m uzunluk, 12.5-16 m genişlik ve 7.35-9.5 m yüksekliğindedir.

Yapısal bilgiler:

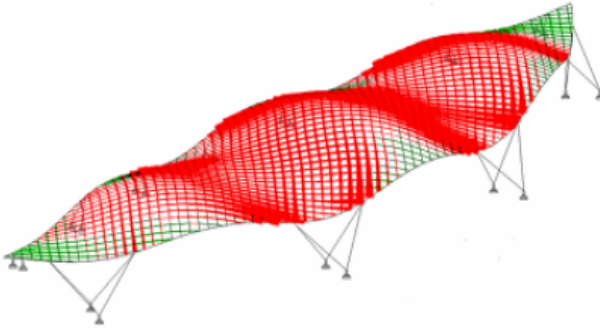
Kabuk, 1 m'lik ızgaralardan oluşmaktadır. 47 m uzunlukta olmasına karşın, boyuna açılımı 50m'ye ulaşmaktadır. Üç kubbenin her birinin merkez noktası, nihai konumlarına göre belirlenmiştir. En son boyuna ve enine yerlerine göre tespit edilmiştir. Her bir ızgaranın iç açılarından ikisi 96° ve diğer ikisi 84°'dir.

Tasarımın inşasına başlamadan önce, tam ölçekli bir prototip üzerinde yapı davranışı test edilmiştir. Bu nedenle, 5x2.5 m'lik bir prototip, çift eğrilik ilkesi uygulanarak, en dar çevresi 5 m olacak şekilde şantiyede oluşturulmuştur. Bu oldukça maliyetli bir işlem olmasına karşın olası sorunları belirleme açısından önemli olmuştur.

Çizelge 5.29 Savill Garden, Surrey, İngiltere [145].



Yapının dış görünümü.



Yapının çatı sistemi.



Yapının çatısının içten görünümü ve dış V kolonlar.

Yapım yılı: 2006.

Mimarı: Glenn Howells Architects, Buro Happold.

Yapı hakkında:

Sırayla üç kubbenin yer aldığı ve kenarları sinüs eğrisi şeklinde olan bir yapıdır. Çatının tüm uzunluğu 90 m olup geçtiği açıklık 25 m (en geniş yerde) dir. Kabuk çatı, dört ayaklı çelik V tipi ayaklarla desteklenmektedir. Çatı yüksekliği, 4.5-8.5 m arası değişmektedir.

Yapısal bilgiler:

Mannheim'in ızgara kabuğunda, çelik çekme kablolarıyla çaprazlar yapılmış, Downland için ise bu çaprazlar yerine cephe kaplamasını da destekleyen ahşap elemanlarla yapılmıştır. Daha ekonomik ve daha zarif bir yapı olan Savill Garden'da kablolar yapılmamış ve kontrplak kaplamalar kullanılmıştır.

Biçim-bulma modelinde tasarlanan yüksekliğinin verilebilmesi için plan düzleminden 200 nokta belirlenmiştir. Izgara açıklığı düzenli olarak 1 m dir ve elemanlar 80x50 mm enkesitli olup, karaçam ağacından üretilmiştir. Toplamda, 20 km' den fazla karaçam ahşabı kullanılmıştır. Çatının tüm ağırlığı sadece 6 tondur.

Çizelge 5.30 Wallon Forestry Centre, Ardennes, Belçika [15], [138].



Yapının dış görünümü.



Yapının çatı sisteminin içten görünümü.

Yapım yılı: 1995.

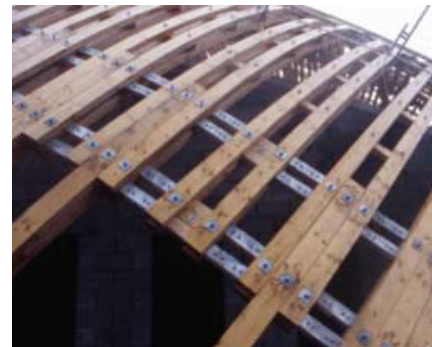
Mimarı: Philippe Samyn and Partners.

Yapı hakkında:

Elips plan biçimine sahip yapı, 27 m genişlik ve 12.5 m yüksekliktedir. Yapıda kullanılan ahşap elemanlar, ladin ve meşe ağaçlarından üretilmiştir.

Yapısal bilgiler:

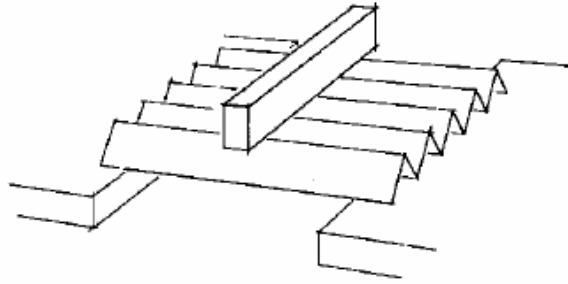
Elipsin eğriliğini oluşturan her bir ahşap parça, temelden itibaren, 8x16 cm'lik 1 kiriş, daha sonra 7/14 cm'lik 2 kiriş, daha sonra 6/12 cm'lik 3 kiriş ve en üstte 5/10 cm'lik 4 kirişten oluşmaktadır ve hepsinin uzunluğu 6.82-6.90 m olup derinlikleri 21 cm dir. Kirişlerin birbirine birleşiminde cıvatalar ve metal çiviler; kemerlerin temel betonuna bağlantısında plakalar ve dişli vidalar kullanılmıştır.



Çatı elemanlarının birleşme detayı.

5.6 KATLANMIŞ PLAKLAR (ORİGAMİ)

Katlanmış plakların, taşıyıcı sistem olarak çağdaş mimarlıkta kullanılmaya başlamaları oldukça yenidir. İki ucundan tutulduğunda kendini taşıyamayan, kendi ağırlığı altında dahi sarkan bir kâğıt parçasının, bir takım katlanmalardan sonra kendini taşımanın yanı sıra ek yükleri dahi taşıyabilir duruma geldiği herkesçe bilinmektedir (Şekil 5.28). Bunun nedeni, kâğıdın, yatay konumda kendi düzlemi içinde bulunan ağırlık merkezinin, katlanmalarla yerinin değişmesi ve atalet momentine esas olan yüksekliğin böylece arttırılmasıdır. Katlanma sayısının artmasıyla sözü edilen kâğıt daha da dirençli hale gelir [133].



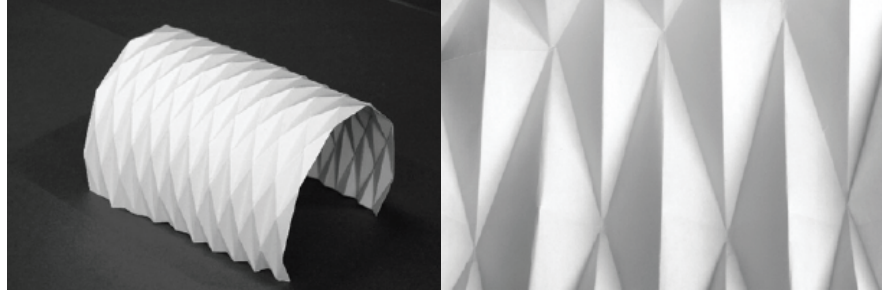
Şekil 5.28 Katlanmış kâğıdın taşıyıcılık özelliğini anlatan bir çizim [152].

5.6.1 Genel

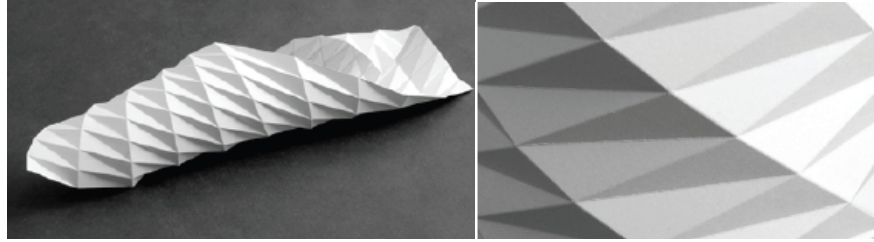
Katlanmış plaklar; düzlem yüzeysel taşıyıcı elemanların (plakların) bir açı altında birleşerek oluşturdukları uzaysal taşıyıcı sistemlerdir. Yüzeysel sürekli taşıyıcı elemanlardan oluşan katlanmış plakların yük taşıma biçimi statik ilkeler açısından plak ve perde çalışmasına benzetilmektedir. Geçilecek açıklık sabit tutulup, plak kalınlığı değişken alındığında katlanmış bir yüzeyin katlanma sayısı arttıkça, plak kalınlığının azalacağı açıktır [133]. Farklı parametrelere göre çok farklı katlanmış plaklar oluşturulabilir (Şekil 5.29). Bunlardan bazıları,

- Prizmatik katlanmış plak: Yüzeyi dikdörtgen biçiminde olup en yaygın katlanmış plak türünü oluşturur.
- Piramidal katlanmış plak: Geometrinin belirlenmesinde çıkış noktası piramidal yüzeydir.
- Üçgen biçimli katlanmış plak: Prizmatik katlanmış plağa oranla katlanmış yüzeyleri arttığı için biçim yönünden daha fazla rijitlik kazanmıştır [133].

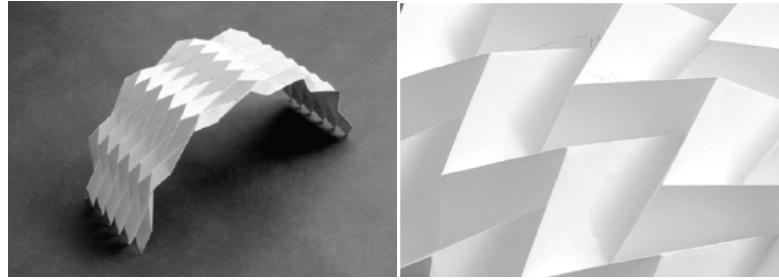
- Çerçeve-Kemer oluşturan katlanmış plak: Hem eğrilığının hem de katlanmanın sağladığı biçimsel direnç, bu geometrileri katlanmış plaklarla geçilebilecek en büyük açıklıklar için uygun hale getirmektedir [133]. Bu tip plaklar doğrudan yere temas sağladığı için kolonlarla desteklenmesine gerek yoktur. Çerçeve-kemer oluşturabilecek plak katlama yöntemleri içinde üç tanesi öne çıkmaktadır [153]:



Yoshimura modeli (Elmas modeli)



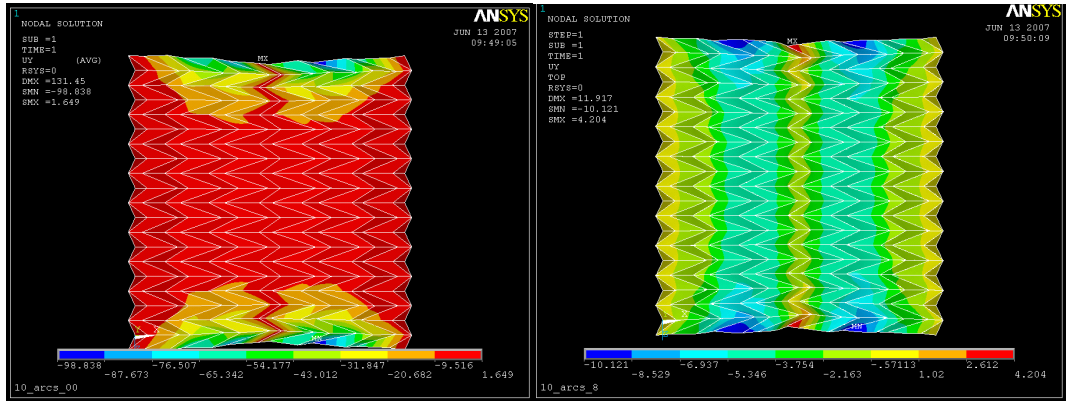
Diagonal modeli



Miura Ori modeli

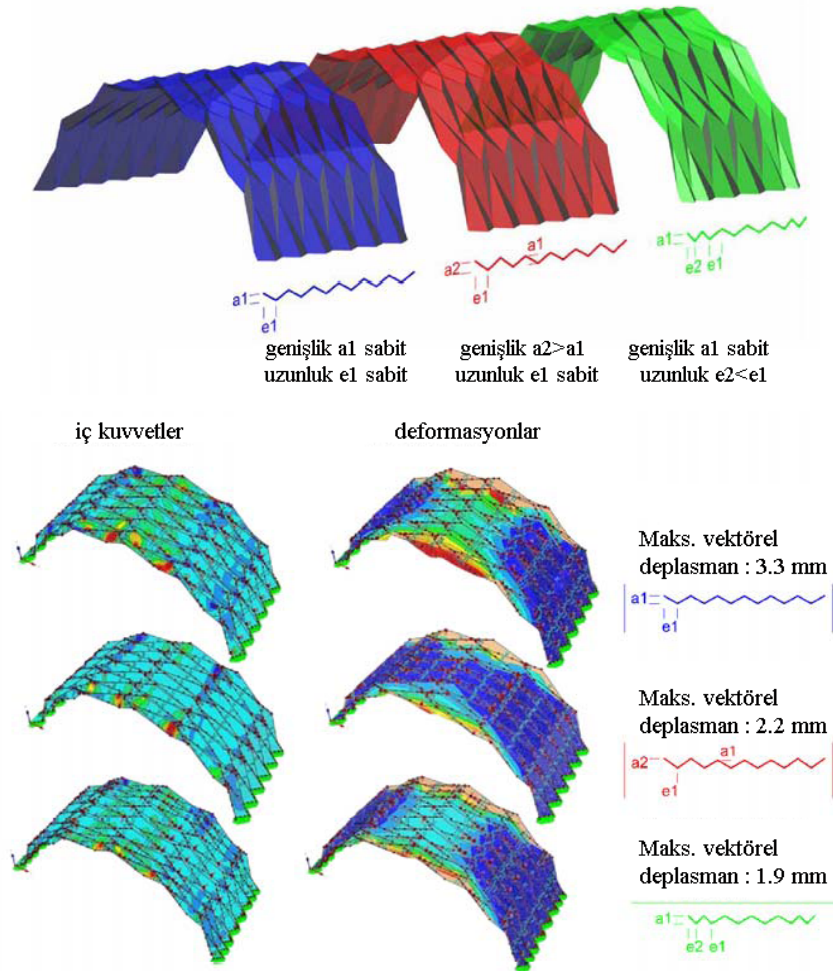
Şekil 5.29 Çerçeve oluşturan katlanmış plaklara örnekler [153].

Bir katlanmış plak, yük altında boyuna eksen boyunca düzleşmeye çalışır. Özellikle, dış kenarların yük altında daha çok deformasyon gösterir (Şekil 5.30). Katlanmış plağın bu etkiye karşı rijitleştirilmesi gereklidir. Serbest olan dış kenarların yerinden kaymaması veya dışa açılmaması için başta ve sonda; iki uç arasına bir gergi elemanı konulabilir veya alın yüzeyleri düşey doğrultu ile bir açı yapacak şekilde kesilebilir [133].



Şekil 5.30 Katlanmış plak modelinin, yatay ve düşey yükler altında, dış kenarlarının zorlanmasını gösteren bir bilgisayar analizinin görüntüsü [154].

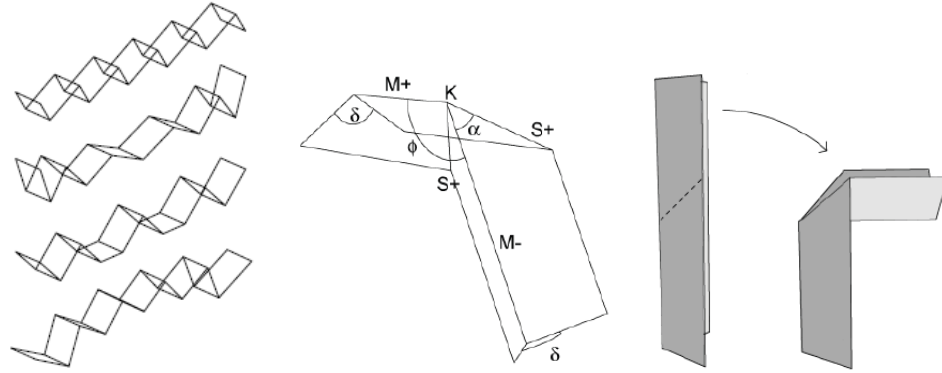
Bir diğer çalışmada, katlamada etken çizgilerin değerlerindeki farklılıkların sonuçları gözlemlenmiştir. Üç farklı değerde aynı katlama tekniğinde modeller oluşturmuştur. Şekil 5.31’de gösterilen 3. katlamada, kenar katlama mesafesi, içtekilerden az tutulmuş ve sonuç olarak en az yer değiştirme değeri ortaya çıkmıştır [154].



Şekil 5.31 Oluşturulan modellerin farklı değerleri [154].

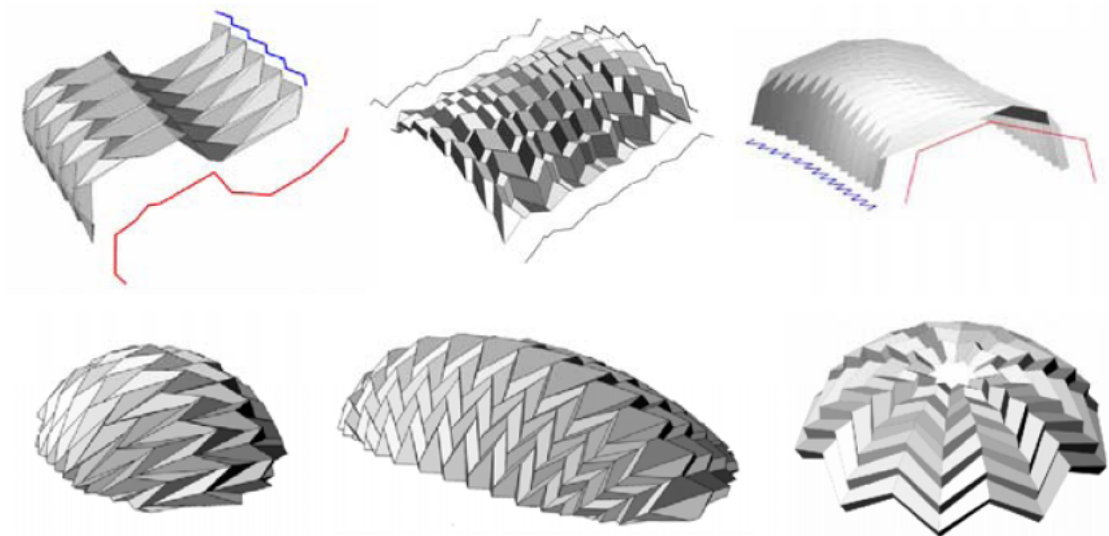
Basit veya karmaşık katlanma yöntemleri vardır. Bunlardan *paralel buruşturma* yöntemi, en basit yöntemdir. Zigzag bir çizginin bir doğru boyunca uzatılmasıyla oluşur. Bu yön, düz ya da bükülmüş de olabilir veya gelişigüzel bir eğrisel hatta çok köşeli bir biçim de olabilir [153].

Tersine katlamada ise dört farklı düzlem oluşur ve bunlar şekil 5.32’de gösterilen K noktasında kesişir. Şekilde kırılma açısını gösteren (ϕ), esas bükülen düzlemin açısı olan (δ) ve diagonal kırılmanın açısı (α)’a bağlıdır. Buradan da şu eşitlikler elde edilir: (ϕ)= 180° , (δ)= 180° veya (ϕ)= $180^\circ-2(\alpha)$ ((δ)= 0). Birinci eşitlikte kâğıt tamamen düz düzlemlidir. İkinci eşitlikte ise tamamen katlanmış düzlemler vardır [153].



Şekil 5.32 Paralel ve tersine katlama yöntemleri [153].

Yukarıda bahsedilen katlama modellerinden daha karmaşık katlama modelleri de geliştirilebilir (Şekil 5.33)

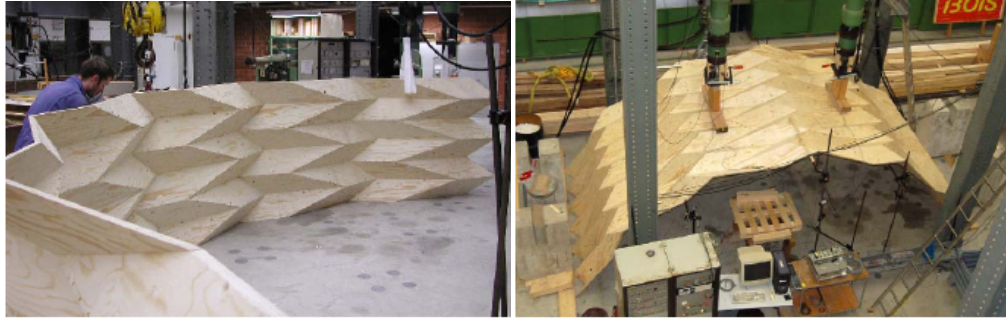


Şekil 5.33 Karmaşık katlama modelleri [153].

Katlama tekniğinin ahşap yapılara uygulanabilirliğinin tespiti için bir prototip oluşturulmuştur. Burada amaç, gerçeğe yakın ölçekte bir yapının tamamının nasıl kurulacağı konusunda ilk deneyimi kazanmak ve prototipin deformasyonun araştırılmasıdır. 21 mm kalınlığında kontrplak elemanlardan oluşturulan simetrik ikizkenar yamuklar, şeklin tümünü oluşturmaktadır. 12 çiftin ardı ardına dizilmesiyle 6.7 m.lik açıklık geçen ve genişliği 2.6 m olan bir kemer oluşmuştur. Bu prototip üzerinde yapılan statik deneyler de en büyük deformasyonun yapının açık kenarlarında oluştuğunu göstermiştir. Prototipin detayları ve çalışma Şekil 5.34’de gösterilmiştir [155].



Kullanılan kontrplak detayı.



Prototipin test edilmesi.

Şekil 5.34 Katlanmış plaklarla prototip oluşturma çalışması [155].

5.6.2 Yapı Örnekleri

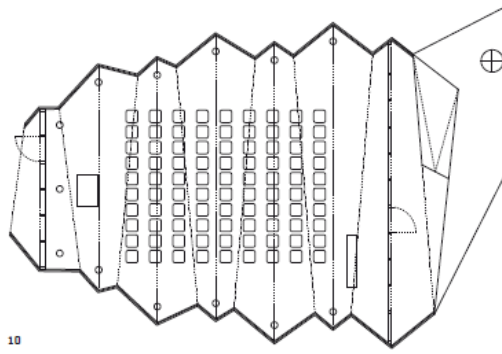
Katlanmış plak yapıların oluşturulmasında kompozit ahşap eleman kullanımı kaçınılmazdır. Dünyada da bu şekilde gerçekleştirilmiş örnekler bulunmaktadır. Bunlardan ikisi,

- İsviçre’de yer alan şapel yapısı (Çizelge 5.31),
- Almanya’da yer alan müzik okuludur (Çizelge 5.32).

Çizelge 5.31 Şapel, Lozan, İsviçre [154], [156].



Yapının içten görünümü.



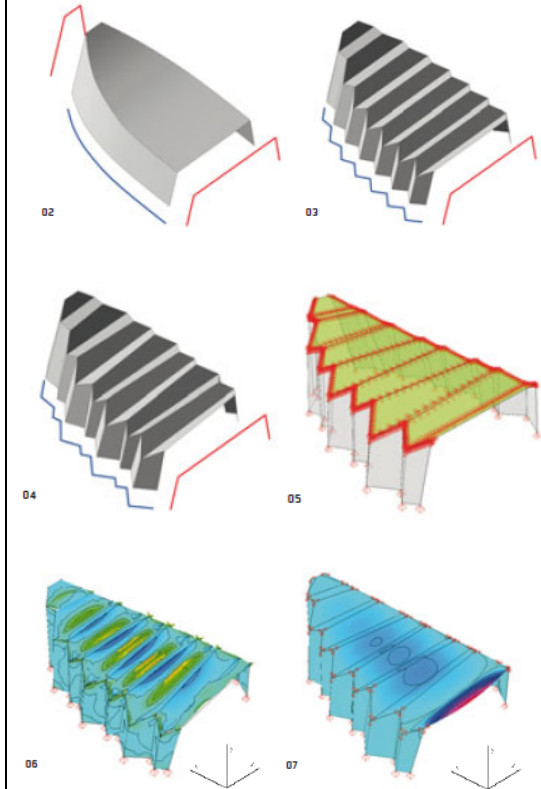
Yapının planı.



Yapının dış görünüşleri.

Protestan rahibelere ait bir manastırın yenilenmesi sırasında, buradaki rahibeler için yapılmış geçici bir şapeldir. Bu noktada, en uygun (hız ve ekonomiklik açısından) seçeneğin bir katlanmış plak yapısı olduğuna karar verilmiştir. Bu yapı, 100 kişi için hizmet verecek şekilde tasarlanmıştır.

İki simetrik eğilmiş zig-zag çizgi, plandaki biçimi oluşturmuştur. Kesit profili ise basit bir ikizkenar yamuk seçilmiştir. Bazı küçük uyarlamalar sayesinde bir bazilikaya benzeyen aynı zamanda özgün bir biçim ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, origami modellerine dayanan katlanmış plak yapıların uygulanabilirliği bir yapı inşa edilerek gösterilmeye çalışılmıştır.

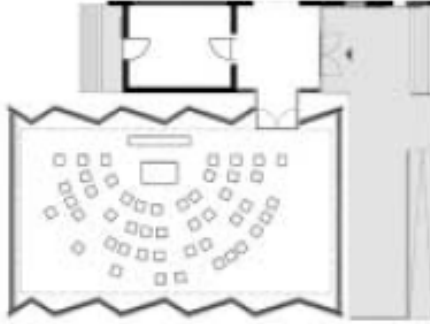
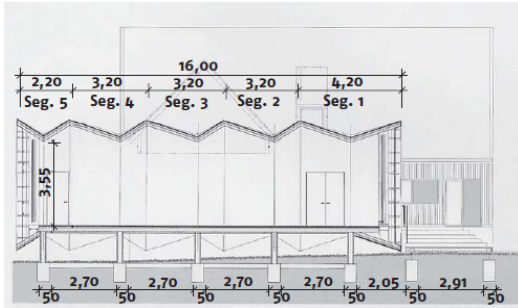


Yapının oluşturulma aşamaları ve statik gerilmesi.

Çizelge 5.32 Müzik Evi, Thannhausen, Almanya [157].



Yapının dış görünümü.



Yapının plan ve kesiti.



Yapının kurulum aşamaları.

2002 yılında bir müzik derneğinin prova salonu olarak yapılmıştır. Regina Shineis Mimarlık, müzik için gerekli olan akustik düzeni de sağlamaya elverişli olacağını düşünerek, katlanmış plak sisteminde bir yapı tasarlamıştır (6). Yapının uzunluğu 16 m, genişliği 10 m ve ortalama yüksekliği 5.7 m'dir. Kompozit ahşap kalınlığı ise 10 cm'dir. Ayrıca, yaklaşık 913 m³ lük bir hacmi kaplamakta ve 160 m² lik alanı başka hiçbir taşıyıcı olmadan geçmektedir.

Yapının toplam maliyeti 300 000 Euro olup, bu yapı özgünlüğüyle de bazı ödüller almıştır. Bunlar, 2004 yılında Alman Mimarlık Ödülü, 2003 yılında Alman Ahşap Yapı Ödülü (ikincilik) ve 2002 yılında Bavyera Ekonomik Ahşap Ödüllü'dür.



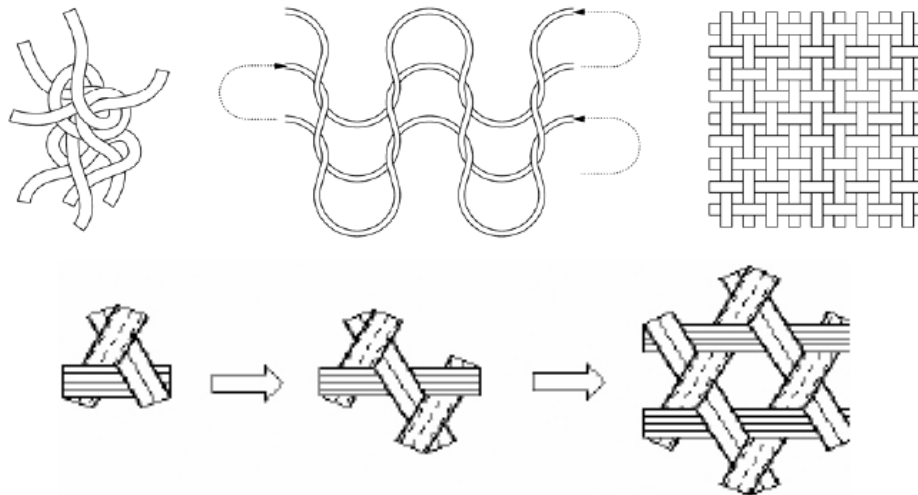
Yapının kurulum aşamaları.

5.7 DOKUMA AHŞAP YAPILAR (*WOVEN STRUCTURES*)

Gelecekte tek tabakalı veya çift tabakalı ahşap gridal kabuklar ve katlanmış plakların yanında gelişim gösterecek olan diğer yenilikçi uygulama ise ahşap ‘dokuma’ yapılar olacaktır. Diğer birçok geometrik biçim ile yapım teknikleri kaynaşarak, ahşaba dayalı yapım alanında inşaat mühendisliğini zorlayıcı ancak bir o kadar da etkileyici ve ilginç uygulama alanları oluşturmaktadır [155].

5.7.1 Genel

Araştırmacılar tarafından¹, ahşap dokumanın nasıl olabileceği üzerine çalışmalar yapılmıştır (Şekil 5.35). Bu çalışmalarda teorik bilgiler elde edilmiş ve stüdyo çalışmaları ile bu tekniğin yapı ölçeğine uygulanabilirliği araştırılmıştır [155].



Şekil 5.35 Sırasıyla; keçeli kumaş, ağ kumaş, dokuma kumaş [158].



Şekil 5.36 Dokuma ahşap modeli [155].

¹ İsviçre’de yer alan Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) üniversitesine ait L’IBOIS (ahşap) laboratuvarı.

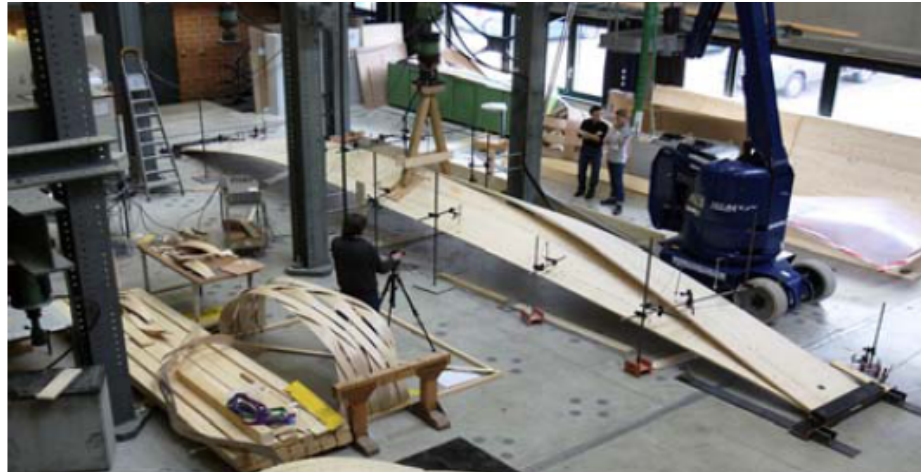
Stüdyo çalışmalarında, öğrenciler farklı ölçeklerde maketler yapmışlardır (Şekil 5.36). Her ölçek değişiminde farklı parametreler, özellikle rijitlik, devreye girmiş ve bazı hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 5.37). Sonuç olarak, neredeyse birebir ölçekli maketler yaparak (Şekil 5.38), farklı niteliklerde yapılar oluşturmuşlardır.



Şekil 5.37 2007-2008 döneminde yine bir öğrenci tarafından yapılan, farklı eğriselliklerin denendiği maket çalışmaları [155].



Şekil 5.38 Weinand Mimarlık Stüdyosu, yapı ölçeğinde denemeler [155].



Şekil 5.39 Gerçek ölçekte model yapımı ve test çalışmaları [155].

Bu tip yapıların oluşturulmasında bilinen mühendislik yazılımlarından çok daha farklı yazılımlar gereklidir (Şekil 5.39). Bu amaçla araştırma merkezi tarafından geliştirilen yazılımda¹ birçok farklı geometrik model dikkate alınmıştır [155]. Önce bir düzlem üzerinde ‘dokunan’ ahşap, daha sonra eğilme ve burulma momentlerinin etkileri de hesaplanarak gerekli eğriselliğe ulaştırılmıştır.

Dokuma ahşap yapılarda, iç içe geçmiş elemanlar oluşturmak için her bir elemanı ayrı ayrı eklemeye veya adapte etmeye olanak sağlar; bu, sistemin özgür bir şekilde kurulmasını sağlar. Dokuma yapısıyla inşa edilen yapılar, hem mimari açıdan hem de ışığın geçirgenliğini sağlayan uzaysal yapısı ve dayanıksız gibi duran aldatıcı yapısı ile heyecan vericidir.

Her ne kadar, ahşap-kumaş-dokuma-yapı gibi terimler birlikte kullanıldığında, zihinde güçlü bir imge oluşturmaya da, aslında bu tip yapılar, yüksek çözünürlüklü ağ yapılarından dolayı masif elemanlarla (kolon-kiriş) sağlanamayacak kadar rijitlik gösterir. Çünkü her bir tabaka, büyük bir dokuma örgüsünün alt elemanıdır ve asla tek başına tüm sistemin çökmesine neden olamaz [155].

5.7.2 Yapı Örneği

Günümüzde mimarlar, free-form (serbest-biçim) olarak adlandırılan mimari akımda sınırları zorlamaktadır. Dokuma tekniğinin yapıya uygulanaşına örnek olarak, Shigeru Ban’ın Metz’de tasarladığı Pompidou Centre’ ın çatısı gösterilebilir. Bu yapıyla ilgili detaylar Çizelge 5.33’te verilmiştir.

¹ IFS (Iterative Function System).



Dokuma sistemde esinlenilen Çin şapkası.



Yapının inşası sırasında bir görünüm.



Yapının dokuma sistem detayı.

Yapım yılı: 2009.

Mimarı: Shigeru Ban, Jean de Gastines.

Yapı hakkında:

18 km uzunluğunda tutkallanmış ahşap tabakalı kirişten oluşan, ahşap örgünün hazırlanması 10, monte edilmesi ise 4 ay sürmüştür. Her kiriş tek tek kendi özgün boyutlarında CNC ile montaj için deliklerin açılmasını (birleşme noktaları, örgü ayakları) mümkün kılmıştır. Çatı strüktürünün yenilikçi ve örnek montajı, altıgen gözler oluşturacak biçimde örülmesi ile gerçekleşmiştir. Yapının iç alanı 10700 m² dir.

Yapısal bilgiler:

Yapının çatısı, dokuma Çin şapkasından esinlenilmiş ve yapısal olarak oldukça şaşırtıcıdır: birbirine geçen üçgenlerin oluşturduğu altıgenlerin her biri $\approx 2,9$ m boyutta ve 40 m açıklık geçmektedir. Çatı malzemesi yüksek dayanımlı tabakalı tutkallı ahşap olup yapımını bir Alman firması üstlenmiştir. Toplam 1800 adet kiriş bulunmakta ve tüm kiriş elemanlar ard arda dizildiğinde 15 km uzunluğa ulaşmaktadır. Üstlenici firma çok titiz bir çalışma göstererek önce 10x10 m'lik bir model oluşturmuştur ki gerçekte çatının tüm kapladığı alan 8500 m²'dir. Yapının toplam maliyeti 65 milyon € iken sadece çatının maliyeti 8 milyon €'dur. Yapımı 30 Eylül 2009'da tamamlanmıştır.

GENİŞ AÇIKLIKLI AHŞAP KOMPOZİT KEMERLERİN KARŞILAŞTIRMALI STATİK ANALİZİ

Bu bölümde, sadece düşey yükler dikkate alınarak (sabit yük + kar yükü), ahşap tabakalı kompozit eleman olarak boyutlandırılan kemerlerin, SAP2000 kullanılarak¹ yapılan statik analizinin karşılaştırmalı sonuçları irdelenecektir. Bu amaçla, uygulamada en çok tercih edilen basit mesnetli ve üç mafsallı iki adet kemer, çelik ve ahşap kompozit olarak ayrı ayrı boyutlandırılmıştır.

6.1 Kabuller

Hesaplarda aşağıdaki yükler dikkate alınmıştır:

- Kemerin kendi ağırlığından kaynaklanan sabit yükler (SAP 2000 tarafından otomatik hesaplanmaktadır).
- Kar yükü (75 kg/m^2 -1.bölge)

$L= 30 \text{ m}$ açıklık ve $h=10 \text{ m}$ yüksekliğinde seçilen kemer formunun, hesaplarda, 7 m 'lik aralıklarla yerleştirildiği öngörülmüştür.

İki kemer tipinin kesitleri, bir kaç adımlık iterasyon sonucunda en optimum şekilde belirlenmiştir. Çelik ve iki farklı tip ahşap kompozit eleman (Glulam, LVL) için dikkate alınan mekanik büyüklükler Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelge 6.1'den izlendiği gibi mekanik büyüklükler açısından değil ama elastisite modülü/yoğunluk oranı açısından

¹ Statik analizleri, YTÜ İnşaat Fakültesi'nde Yüksek Lisans yapmakta olan Erkin Duran gerçekleştirmiştir.

kompozit ahşap, çelik ile yarışır durumdadır. Ahşabın eğilme dayanımı / yoğunluk oranı ise çelikten çok daha yüksektir.

Çizelge 6.1 Tabakalı kompozitler ve çeliğin mekanik büyüklükleri.

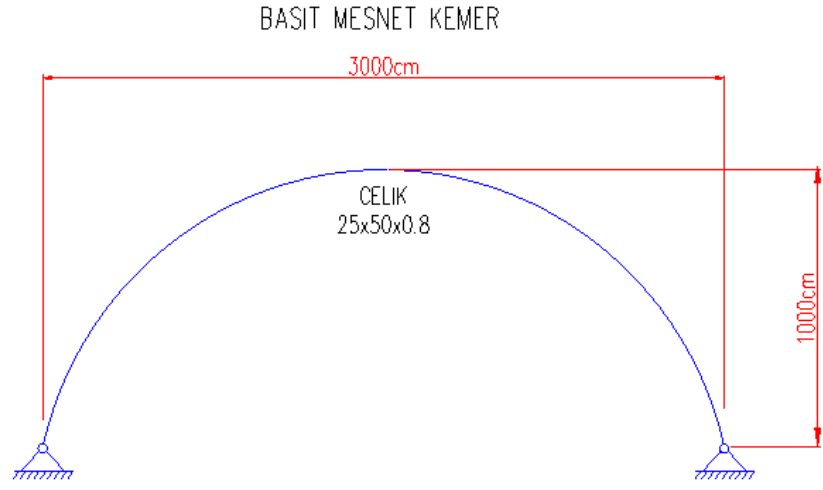
Malzeme	Eğilme emniyet gerilmesi (MPa)	Elastisite modülü (MOE) (GPa)	Yoğunluk (t/m ³)	Elastisite modülü /Yoğunluk	Eğilme dayanımı / Yoğunluk
Glulam	20	10	0.4	25	50
LVL	28	14	0.4	35	70
Çelik	140	210	7.8	27	18

6.2 Analiz Sonuçları

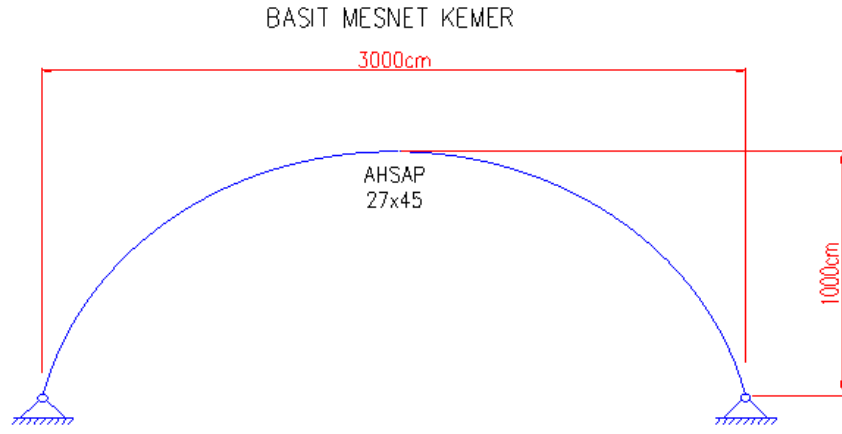
Statik sistemler ve yapılan analizler sonucunda bulunan nihai boyutlar Şekil 6.1’de gösterilmiştir. SAP 2000 ile yapılan statik analizden elde edilen moment, kesme kuvveti normal kuvvet diyagramları Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’te, orta noktadaki sehim değerleri ise Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmaktadır:

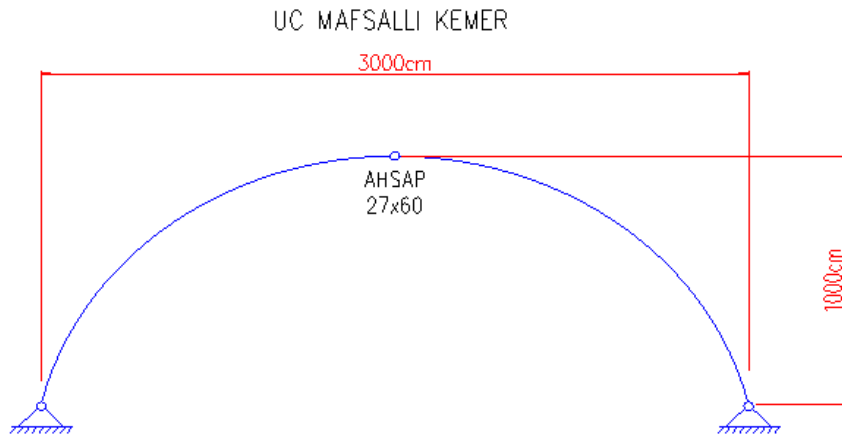
- Üç mafsallı kemerde, beklendiği gibi, iki mafsallı kemere göre daha büyük moment ve kesme kuvveti değerleri oluşmakta; artış, en fazla eğilme momentinde (% 35-40) ortaya çıkmaktadır.
- Sonuçlara göre, her iki mesnetlenme durumu için, en düşük eleman ağırlığı (18.2 kN) basit mesnetlenmiş LVL elemanda meydana gelmiştir. Aynı açıklığın çelik kutu profil ile geçilmesi durumunda, kesit boyutları ~aynı kalmasına rağmen kemer ağırlığı iki katına çıkmaktadır.
- Orta noktadaki sehim; ahşap elemanlarda, elastisite modülünün düşüklüğünden dolayı 8-8.8 cm mertebesinde iken, çelik kutu profil kullanıldığında sadece 3 cm’dir. Kutu profil yerine I profil (IPE 450) kullanılması, sehimde 3 kat (9 cm) artışa neden olmaktadır. Ahşabın sehim $L/300=10$ cm’den küçük kaldığı için sorun oluşturmamıştır.



Çelik



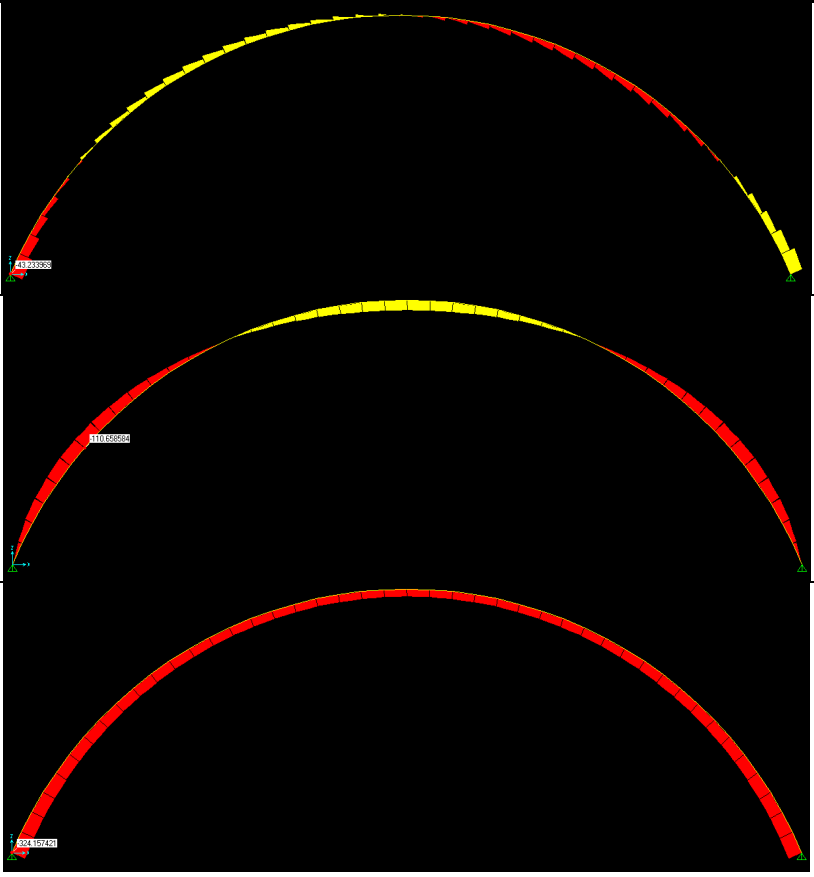
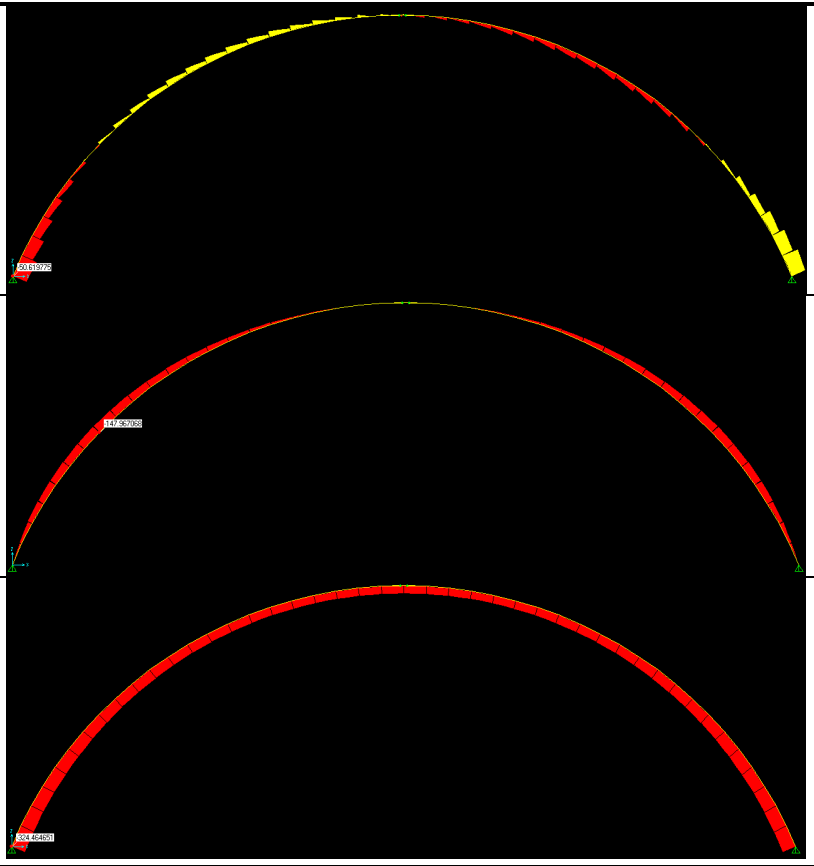
LVL



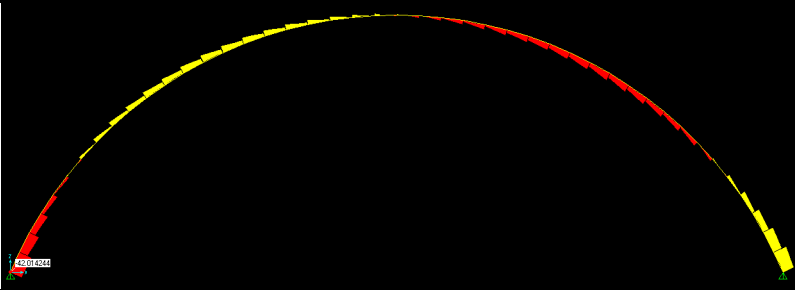
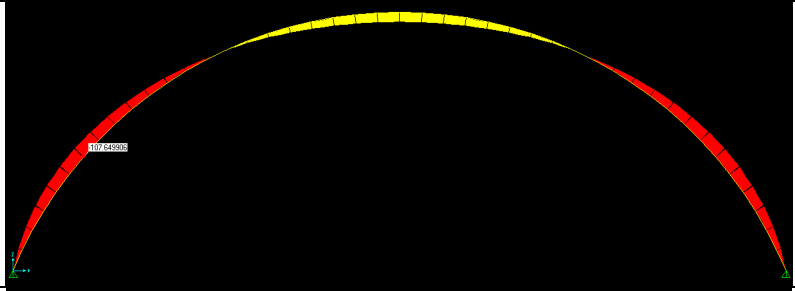
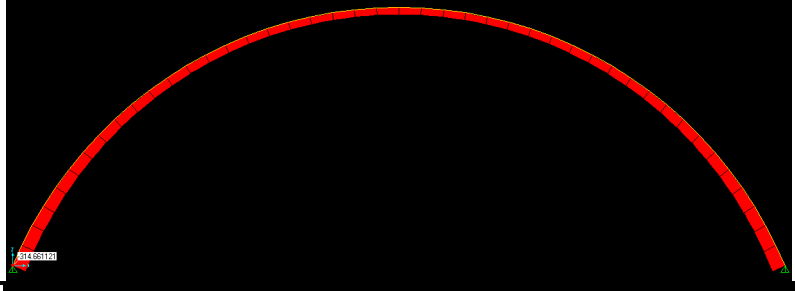
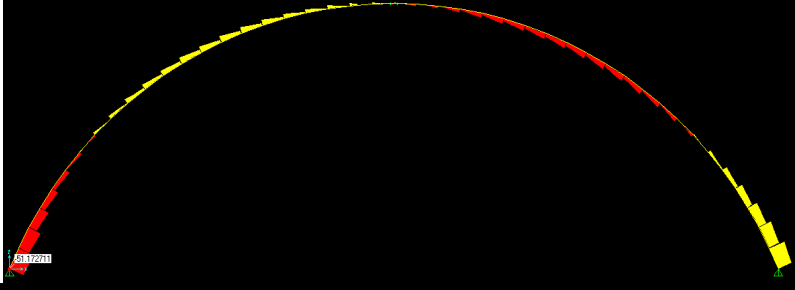
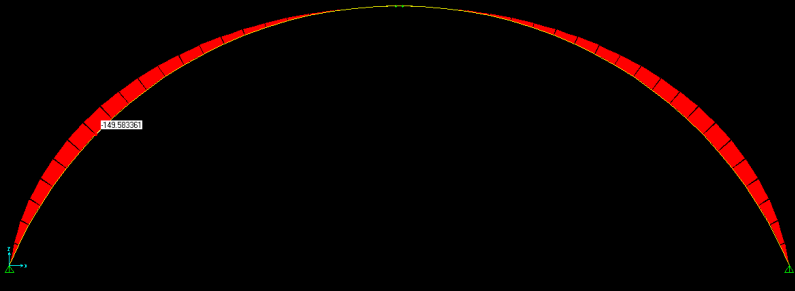
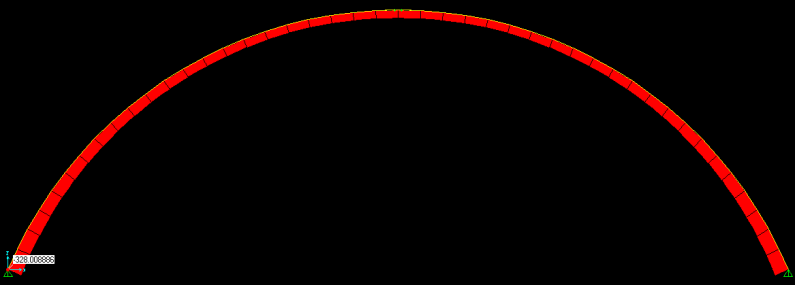
Glulam

Şekil 6.1 Basit mesnetli ve üç mafsallı kemer sistemlerin boyutları ve enkesitler.

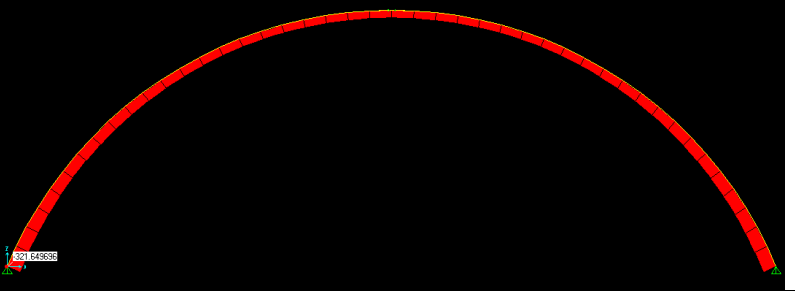
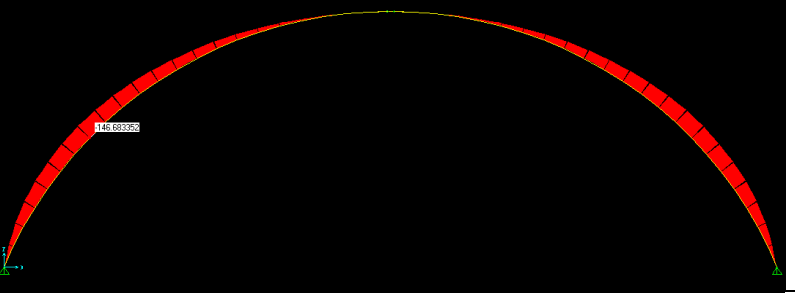
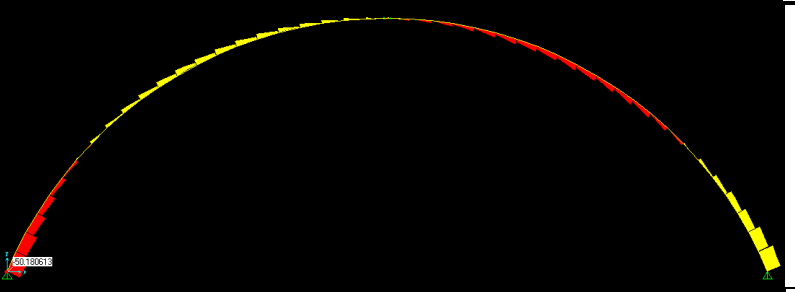
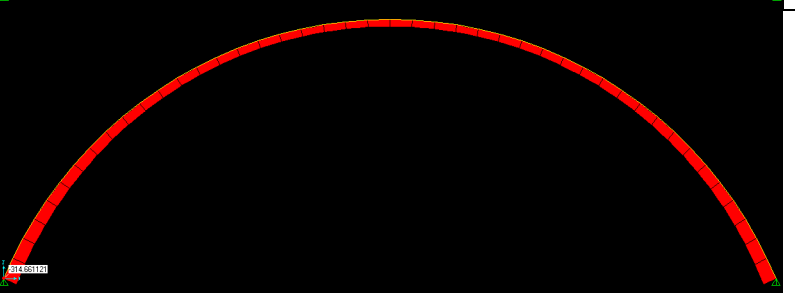
Çizelge 6.2 Çelikten üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.

İki mafsallı (basit mesnetli) kemer (Kutu kesit: 25*50*0.8, Ağırlık: 34.55 kN)	N_{maks} -328 kN	M_{maks} -110.66 kN.m	T_{maks} -43.23 kN	
Üç mafsallı kemer (IPE 450, Ağırlık: 29.06 kN)	N_{maks} -324.47 kN	M_{maks} -147.97 kN.m	T_{maks} -50.62 kN	

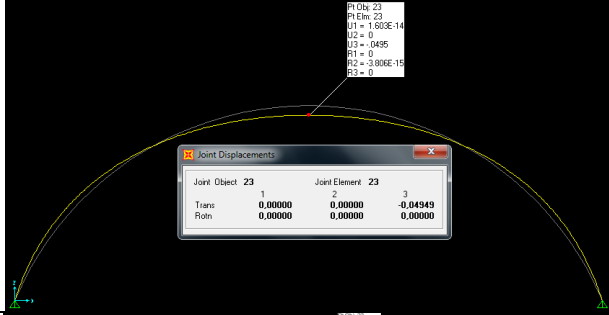
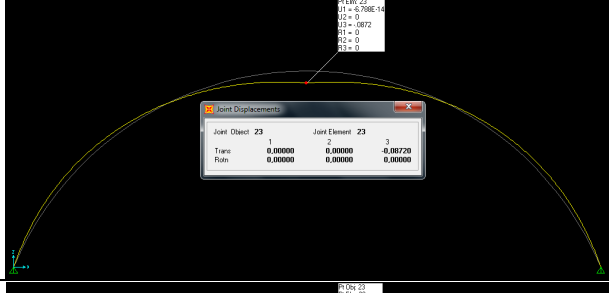
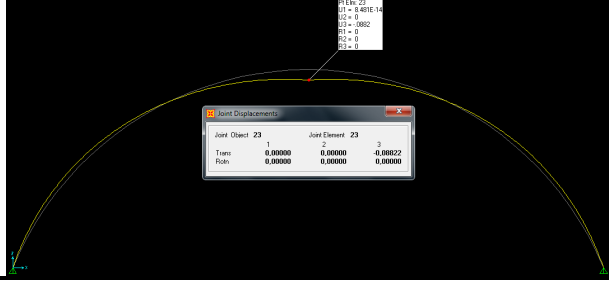
Çizelge 6.3 Glulamdan üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.

İki mafsallı (basit mesnetli) kemer (27*60 cm, Ağırlık: 24.29 kN)	$N_{maks} =$ -314.66 kN	$M_{maks} =$ -107.65 kN.m	$T_{maks} =$ -42.01 kN	
Üç mafsallı kemer (27*60 cm, Ağırlık: 35.08 kN)	$N_{maks} =$ -328 kN	$M_{maks} =$ -149.58 kN.m	$T_{maks} =$ -51.17 kN	
				

Çizelge 6.4 LVL'den üretilmiş iki ve üç mafsallı kemer sistemlerde oluşan kesit tesirleri.

Üç mafsallı kemer (27*60 cm, Ağırlık: 24.29 kN)	ki mafsallı (basit mesnetli) kemer (27*45 cm, Ağırlık: 18.21 kN)		
	$N_{maks} =$ -321.65 kN	$M_{maks} =$ -146.68 kN.m	$T_{maks} =$ -50.18 kN
			

Çizelge 6.5 İki ve üç mafsallı kemer sistemlerinde sehim (f_{maks}) değerleri.

İki mafsallı (basit mesnetli) kemer	Çelik		
	Glulam		
	LVL		
Üç mafsallı kemer	Çelik		
	Glulam		
	LVL		

SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğadan temin edilen ahşap, insanlık tarihi boyunca, farklı işlevli yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmıştır. Ancak, geçmişte sınırlı olan ağaç işleme teknikleri nedeniyle, inşa edilen yapıların nitelikleri ve geçtikleri açıklık sınırlı kalmıştır. Zaman içinde hem endüstri teknolojilerinin gelişmesine hem de daha büyük hacimli yapılara ihtiyaç duyulmasına bağlı olarak ahşap ürünler de hızlı bir gelişme göstermiştir.

Yüzyıllardır basit tekniklerle uygulanan ahşap, sadece son yarım asırda gösterdiği gelişmeyle, bir dönem yerini bıraktığı çelik ve betona özellikle geniş açıklıklı yapılarda yeniden rakip olmuştur.

İlk olarak, tutkallı ahşap (glulam) ile başlayan bu gelişme, ağacın daha verimli kullanılmasını sağlayan kesim işlemleri sayesinde üretilen üretilen LVL, PSL ve LSL elemanlarla devam etmiştir. Tüm bu gelişmiş kompozit ahşap ürünlerin;

- Üretiminde seçilen ağacın türü, özellikleri ve dayanımı,
- Üretiminde kullanılacak tabakaların seçimi,
- Elemanın kullanılacağı yere uygun tutkal seçimi ve tutkala uygun presleme tekniği,
- Elemanın tasarlanan şekli alabilmesi ve kolay işlenebilmesi,
- Kullanılacağı ortam koşullarına göre uygulanacak emprenye türü ve tekniği,
- Elemanın son dayanım değeri,
- Hafif olması ve kolay montajlanması,
- Maliyet açısından uygun olması,

- Kullanıcı açısından estetik olması,
- Kullanım ömrünün uzun olması,
- Uzun vadede 'sürdürülebilir' nitelik taşıması,

yapının üretim-kurulum-kullanım döngüsünde yer alan mimar-mühendis-kullanıcı açısından önemli noktalar. Günümüzde, sahip olduğu bu niteliklerle, yapısal ahşap kompozit elemanlar, özellikle yurtdışında geniş açıklıklı taşıyıcı sistemler oluşturulmasında tercih edilmektedir. Bu elemanlarla inşa edilen basit mesnetli giriş sistemlerle 20 m açıklık geçilebildiği gibi kubbe biçimi oluşturarak ≈ 170 m açıklık geçilebilmektedir. Glulam, LVL, PSL ve LSL gibi yapısal ahşap kompozitlerin, geniş açıklık sistemlerde tercih edilme nedenleri;

- Aynı sistemde üretilecek betonarme veya çelik elemanlara göre daha az enkesit boyutlarıyla daha çok açıklık geçebilmeleri,
- Yoğunluğunun düşük olmasına bağlı olarak ağırlıklarının daha az olması,
- Hafifliğe bağlı olarak, yapının kurulumu sırasında vinç maliyetini azaltması,
- Kurulum sırasında priz alma süresi veya ek kaynak gerektirmemeleri,
- Fabrika ortamından hazır montaj plakalarıyla çıkmalarına bağlı olarak şantiyede montaj süresinin kısa olması,
- Betonarme veya çelik sistemlerle oluşturulabilecek taşıyıcı sistemlere göre daha esnek ve amorf biçimlerde tasarım seçenekleri sunması,
- Özellikle kafes elemanlarda, üst-alt başlıklar ile örgü çubuklarının farklı ahşap kompozitlerle kombine edilebilmesi,
- Kubbe veya kabuk yapılarda, betonarme ve çelik sistemlerden farklı olarak, çubuk elemanlar ve birleşim noktalarıyla çok daha hafif ve kolay bir sistem oluşturmaları,
- Yangın sırasında, beton gibi ani patlamaması ve çelik gibi ani dayanım düşmesi göstermemesi,
- Yangın dayanım süresinin fazla olmasına ek olarak, uygulanabilecek emprenye maddeleriyle de bu sürenin uzatılabilmesi,
- Çevresel açıdan, özellikle üretim sürecinde beton ve çeliğe göre çok daha az enerji sarfıyatı gerektirmesidir.

Son elli yılda hızlı bir gelişme gösteren yapısal ahşap kompozitlerin gelecekte de bu gelişime devam edeceği, bu nedenle daha fazla araştırılacağı açıktır. Özellikle, orman bakımından ve üretim potansiyeli açısından zengin olan Türkiye’de hala modern ahşap yapılara çok sık rastlanamamaktadır. Hızlı büyüyen yapı sektöründe, bu konuya olan ilgiyi arttırmak için daha fazla çalışma ortaya konmalıdır. Özellikle yurtdışı kaynaklı araştırmalardan referans alınarak, okullarda öğrencilerin ilgilerini çekebilecek proje tasarım ve laboratuvar çalışmaları yapılabilir. Ortaya çıkan çalışmalar, daha fazla görsel medyada yer alabilir. Böylece, Türkiye’deki üretim ve tasarım potansiyeli ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Porteous, J., Kermani A., (2007). Structural Timber Design to Eurocode5, First Edition, Blackwell Publishing, İngiltere.
 - [2] Kuklik, P., (2008). “Wood Properties”, Handbook 1-Timber Structures, Leonardo Da Vinci Pilot Projects – TEMTIS, 1:15-27.
 - [3] Gibson, A., C., “Inner and Outer Bark”, UCLA, General Botany course, <http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/>, 18 Nisan 2011.
 - [4] “An Introduction to Wood Anatomy Characteristics Common to Softwoods and Hardwoods”, University of Kentucky, College of Agriculture, <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for59/for59.pdf>, 17 Nisan 2011.
 - [5] Miller, R., B., (2007). “Structure of Wood”, The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
 - [6] Doğu, A., D., (2002). “Odun Yapısı Üzerinde Etkili Faktörler”, DOA Dergisi, Sayı 8, <http://www.doa.gov.tr/doadergisi/doa8/d4.pdf>, 19 Nisan 2011.
 - [7] Bond, B., Hamner, P., “Wood Identification for Hardwood and Softwood Species Native to Tennessee”, University of Tennessee, www.utextension.utk.edu/publications/pbfiles/pb1692.pdf, 19 Nisan 2011.
 - [8] Usta, İ., Güray, A., (2000). “Comparison of the Swelling and Shrinkage Characteristics of Corcisan Pine (*Pinus nigra* var. *mantima*)”, TUBİTAK, 24:461-464.
 - [9] Kricher, J., Morrison, G., (1998). Eastern Forests, Houghton Mufflin Company, New York, ABD.
 - [10] Dinwoodie, J., M., (2000). Timber: Its nature and behaviour, Second Edition, Taylor & Francis, ABD.
 - [11] Ağaç ile ilgili mikroskopik görüntülerin yer aldığı web sitesi, <http://www.wkfinetools.com/>, 19 Nisan 2011.
 - [12] Ağaç ile ilgili temel bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.iverswoodshop.com/>, 20 Nisan 2011.
 - [13] Ağaç ile ilgili temel bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://ahsapkarkas.ahsapkarkas.com/>, 20 Nisan 2011.
 - [14] Kretschmann, D., E., Green, D., W., (2000). The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

- [15] Atmaca A., (2005). Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı, Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- [16] Ağaç ile ilgili temel bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.woodmagazine.com/>, 20 Nisan 2011.
- [17] Bowyer, J., L., Shmulsky, R., Haygreen, J., G., (2007). Forest Products and Wood Science, Fifth Edition, Blackwell Publishing, ABD.
- [18] Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Botanik, Ders sunumu, <http://www.slideshare.net/snc/05-genel-botanik>, 19 Nisan 2011.
- [19] Yörür H., (2007). Islak Mekânlarda Ahşap Tutkallarının Yapışma Mukavemetlerinin Belirlenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Zonguldak.
- [20] Miller, R., B., (2007). “Characteristics and Availability of Commercially Important Woods”, The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [21] T.C Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü (OGM), <http://www.ogm.gov.tr/>, 22 Nisan 2011.
- [22] Society of Wood Science and Technology (SWST), “Properties of Wood”, Slide set 1, <http://www.swst.org>, 19 Nisan 2011.
- [23] Akgül T., (2007). Ahşapların ve Birleşim Noktalarının Fiber Takviyeli Polimerlerle (FRP) Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [24] Bir ahşap kereste üretici firmanın web sitesi, <http://www.dst-sg.com>, 21 Nisan 2011.
- [25] Simpson, W., TenWolde, A., (2007). “Physical Properties and Moisture Relations of Wood”, The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [26] Usta İ., (2003). “Comparative Study of Wood Density by Specific Amount of Void Volume (Porosity)”, TÜBİTAK, 27:1-6.
- [27] Ahşap ile ilgili genel bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.artisansofthevalley.com>, 22 Nisan 2011.
- [28] Akyol S., (2008). Ahşap Asma Çatıların Geometrik Olanaklar ve Malzeme Kullanımı Açısından Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [29] Colorado Üniversitesi, ders notlarının yer aldığı resmi web sitesi, <http://www.ext.colostate.edu>, 22 Nisan 2011.
- [30] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.derix.de/>, 22 Nisan 2011.
- [31] Ahşap kompozit üretiminde kullanılan makineleri üreten bir firmanın resmi web sitesi, <http://www.msrlumber.org/>, 24 Nisan 2011.
- [32] Aghayere, A., Vigil, J., (2007). Structural Wood Design, John Wiley & Sons, ABD.

- [33] Ahşap ile ilgili bilgilerin yer aldığı bir web sitesi, http://210.36.18.48/gxujiangpin/mcx/2008mcx_sy/syjxw/yykcnr/kcol/chapter01_en.html, 24 Nisan 2011.
- [34] Altunkaya, P., (2007). Tutkallı Tabakalanmış Ahşap Strüktür Sistemlerin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [35] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.kaufmann-holz.com/>, 24 Nisan 2011.
- [36] Alaska Belediyesi'nin yerel evleri tanıtan web sitesi, <http://www.alaska-in-pictures.com/log-home-builder>, 24 Nisan 2011.
- [37] Türkiye'de bir ahşap kereste ve kompozit üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.alanyaliahsap.com.tr/>, 24 Nisan 2011.
- [38] Augustin, M., (2008). "Wood Adhesives", Handbook 1-Timber Structures, Leonardo Da Vinci Pilot Projects – TEMTIS, 1:39-47.
- [39] Özkaya, K., (2007). Farklı Yapım Teknikleri ile Üretilen Masif Ahşap Panellerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [40] Köse L., (2008). Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilen Lamine Ağaç Malzemelerin Yanma Mukavemetinin Araştırılması, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [41] Yörür H., (2007). Islak Mekanlarda Ahşap Tutkallarının Yapışma Mukavemetlerinin Belirlenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [42] BS EN 386, (2001). Glued Laminated Timber, Performance Requirements and Minimum Production Requirements.
- [43] Vick C. B., (1999). "Adhesive Bonding of Wood Materials", The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [44] Eckelman C., (1997). "Brief Survey of Wood Adhesives", Purdue University, Cooperative Extension Service, Forestry and Natural Resources.
- [45] Çavuş V., (2008). I-214 Melez Kavak Klonundan Fenol-formaldehit ve Üre-formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilmiş Paralel Şerit Kerestelerinin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [46] AF&PA (American Forest & Paper Association), (2007). "Adhesive Awareness Guide", www.woodaware.info, 19 Nisan 2011.
- [47] Ay, İ., (2008). "Termoplastik ve Termoset Plastikler", Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ders notları, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/>, 24 Nisan 2011.
- [48] Yılmaz M., (2006). Bazı Ahşap Tutkallarının Masif ve Levhalarda Yapışma Performanslarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [49] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.lilleheden.dk/>, 24 Nisan 2011.
- [50] Bir lise binasının kurulum aşamalarını gösteren web sitesi, <http://ynysowen.white-design.co.uk/>, 24 Nisan 2011.
- [51] Usta, İ., (bilinmiyor). “Ahşap Emprenyesinde Bor Bileşiklerinin Kullanımı”, Hacettepe Üniversitesi, Ağaçları Endüstri Mühendisliği Bölümü, <http://www.boardturk.com/>, 24 Nisan 2011.
- [52] Şen, S., (bilinmiyor). “Ağaç Malzemenin Korunmasında Basınçlı Emprenye Sistemleri”, Düzce Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, <http://www.emprenye-basinclikaplar.com/>, 24 Nisan 2011.
- [53] Kılıç, A., Hafizoğlu H., (2007). “Açık Hava Koşullarının Ağaç Malzemenin Kimyasal Yapısında Meydana Getirdiği Değişimler ve Alınacak Önlemler”, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2:175-183.
- [54] Kurt Ş., (2006). Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin (LVL) Deniz Ortamında Bazı Teknolojik Özelliklerinin Değişimi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- [55] Yıldız S., Yıldız Ü., Tomak E., (2010). Yeni Nesil Su Bazlı Mikro Emülsiyon Sistem Formülasyonlarla Muamele Edilen Doğu Kayının Bazı Fiziksel Özellikleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, 3. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 4:1691- 1702.
- [56] Şen, S., Yalçın, M., (2010). “Hizmet Ömrünü Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemenin Çevresel Tehditleri ve Geri Dönüşüm Prosesleri”, Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ormancılık Dergisi, Sayı 5.
- [57] Kartal, S., N., Unamura, Y., (2004). “Borlu Bileşiklerin Emprenye Maddesi Olarak Ağaç Malzeme ve Kompozitlerde Kullanımı”, Ü. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, Türkiye.
- [58] Ayar, S., (2008). Basınç ve Bekletme Süresinin Emprenye Maddelerinin Ağaç Malzemeye Nüfuzuna Etkisinin Belirlenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [59] Hafizoğlu, H., “Ahşap malzemenin kimyasal maddelerle korunma teknikleri”, Z.K.Ü, Bartın Orman Fakültesi, <http://baybul.com/insaat>, 19 Nisan 2011.
- [60] Ordu M., (2007). Açık Hava Koşullarının Ahşap Malzemenin Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [61] Bir ahşap emprenye maddesi üretici firmasının resmi web sitesi, <http://www.hemel.com.tr/>, 24 Nisan 2011.
- [62] Bir kompozit ahşap üretici firmasının resmi web sitesi, <http://www.nordlam.com/>, 24 Nisan 2011.
- [63] Kalay E., (2006). Tutkallı Tabakalı Ahşap ve Çelik Malzemeli Taşıyıcı Yapı Elemanlarının Form ve Açıklık Kriterleri Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [64] Fischetti, D., C., (2009). Structural Investigation of Historic Buildings, John Wiley & Sons, ABD.

- [65] Riberholt, H., (2007). "Performance of old glulam structures in Europe", Danimarka Teknik Üniversitesi, <http://www.byg.dtu.dk/>, 19 Nisan 2011.
- [66] Rug W., (1995). "Innovationen im Holzbau – Die Hetzerbauweise (Teil 2)", Bautechnik 72, Heft 4, 231-241, Ernst&Sohn.
- [67] Tren istasyonuna ait fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.train-photos.com/> , 24 Nisan 2011.
- [68] Thelandersson S., Larsen H., (2003). Timber Engineering, John Wiley & Sons, İngiltere.
- [69] Ahşap kompozitlerle ilgili İtalyanca bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.promolegno.com/> , 24 Nisan 2011.
- [70] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.hess-timber.com/en/brettschichtholz/>, 24 Nisan 2011.
- [71] Jokerts, R., (1981). Finger-jointed Wood Products, Forest Product Laboratory, U.S Department of Agriculture, ABD.
- [72] Ozelton, E., C., Baird, J., A., (2006). Timber Designers' Manual, Third Edition, Blackwell Publishing, İngiltere.
- [73] Gaspar, F., (2004). "Short-term Scientific Mission on Gluing of Preservative Treated Wood", Scientific Report, NTI-COST Action Number: E34.
- [74] Green, D., W., Winandy, J., E., Kretschmann, D., E., (2007). "Mechanical Properties of Wood", The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [75] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, www.kvk.de, 24 Nisan 2011.
- [76] Kanadalı kompozit ahşap üreticilerinin ortak web sitesi, www.woodforgood.com, 24 Nisan 2011.
- [77] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, www.svensktlimtra.se, 24 Nisan 2011.
- [78] Strand, R., (2007). "The Evolution of Structural Composite Lumber", STRUCTURE Magazine, Ağustos, s:59.
- [79] Dallı G., (2005). Türkiye’de Kaplama Tabakalı Kereste (LVL) Üretim İmkanlarının Araştırılması ve Teknolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [80] Milton, T., Landreman, A., "Engineered Wood Beams- Features, Benefits and Design", www.woodworks.org, 20 Nisan 2011.
- [81] LVL ile ilgili web sitesi, <http://ewsolutions.net/aboutus.aspx>, 20 Nisan 2011.
- [82] CCMC 12472-R, "VersaLam", (2008), National Research Council Canada.
- [83] Kontrplak resminin alındığı web sitesi, <http://www.marquesflooring.com.au/> , 24 Nisan 2011.
- [84] EPA, (2002). "Engineered Wood Products Manufacturing", AP-42, Fifth Edition, Volume:1, Bölüm 10.9.

- [85] AF&PA (American Forest & Paper Association), (2007). "Structural Composite Lumber and Glued Laminated Timber Awareness Guide", www.woodaware.info, 20 Nisan 2011.
- [86] EWPA (Engineered Wood Products Association of Australia), (2007). Structural Plywood and LVL Design Manual, Avustralya.
- [87] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, www.finnforest.co.uk, 20 Nisan 2011.
- [88] CCMC 13310-R, "Rigidlam", (2011), National Research Council Canada.
- [89] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.ilevel.com/> , 20 Nisan 2011.
- [90] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.reedconstructiondata.com>, 20 Nisan 2011.
- [91] Metropol Parasol yapısının kurulum resimlerinin yer aldığı web sitesi, <http://vostokproject.com/>, 20 Nisan 2011.
- [92] CCMC 08675-R, "Microllam", (2010), National Research Council Canada.
- [93] Çavuş, V., (2008). I-214 Melez Kavak Klonundan (*Populus X Euramaricana*) Fenol Formaldehit ve Üre Formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilmiş Paralel Şerit Kerestelerin (PŞK) Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [94] Güller, B., (2001). "Odun Kompozitleri", Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2: 135-160, Isparta.
- [95] Moody, R., C., Hernandez, R., Liu, J., (2007). "Glued Structural Members", The Encyclopedia of Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [96] Kurt, R., Çavuş, V., Meriç, H., (2010). "Keresteye Alternatif Bazı Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler; Paralel Şerit Kereste, Tabakalanmış Şerit Kereste ve Ahşap I-Kiriş", III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, V: 1772-1781.
- [97] Ahşap kompozit elemanların üretimleri ve dayanımları ile ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://research.ttlchiltern.co.uk/> , 20 Nisan 2011.
- [98] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, "Innovative Applications of Engineered Wood", <http://www.cwc.ca/> , 20 Nisan 2011.
- [99] CCMC 11161-R, "Parallam", (2009), National Research Council Canada.
- [100] Sızüçen, H., (2008). Titrek Kavak Yongalarından Üretilen (LSL, LVL, PSL) Lamine Ağaç Malzemelerin Direnç Özelliklerinin Belirlenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [101] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.dataholz.at>, 24 Nisan 2011.
- [102] CCMC 12627-R, "TimberStrand", (2010), National Research Council Canada.
- [103] Sağlam B. A., (2009). Büyük Açıklık Yapılarda Prefabrike Betonarme, Çelik ve Tutkalı Tabakalanmış Ahşap Dolu Gövdeli Kirişlerin Karşılaştırılması ve

Bir Örnek Üzerinden İrdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- [104] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.holzbau.rubner.com/> , 20 Nisan 2011.
- [105] Hıraoğlu, E., E., (2007). Ahşap ve Çelik Makas Sistemlerin Malzeme ve sistem Özelliklerinin İncelenmesi, Bir Örnek Yapı Üzerinde Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [106] Çerçeve sistemler için birleşim detaylarını yer aldığı belgenin web sitesi, <http://www.licons.org/> , 20 Nisan 2011.
- [107] Bir ahşap kompozit üretici firmanın resmi web sitesi, www.mcintosh.co.nz, 20 Nisan 2011.
- [108] Avustralya Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü resmi web sitesi, http://www.timberbuilding.arch.utas.edu.au/tbia/tech_info.asp, 24 Nisan 2011.
- [109] İngiliz ahşap kompozit üretici firmalarının toplu web sitesi, <http://www.glulam.co.uk/>, 20 Nisan 2011.
- [110] APA, (2007). “Glulam Connection Details”, Form No: EWS T300H.
- [111] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.canply.org/> , 20 Nisan 2011.
- [112] Yapıyla ilgili bilgilerin ve fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/>, 20 Nisan 2011.
- [113] Yapıyla ilgili bilgilerin ve fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.publicarchitecture.co.uk/> , 20 Nisan 2011.
- [114] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.naturallywood.com/> , 20 Nisan 2011.
- [115] Farreyre, A., Journot, J., (2005). Timber trussed arch for long span, MSc. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, İsveç.
- [116] Linville, J., (2007). “Structural Glued Laminated Timber Arches”, STRUCTURE Magazine, Şubat, s:16-17.
- [117] Kemerlerle ilgili resimlerin yer aldığı web sitesi, <http://www.archlegno.com/en/>, 18 Nisan 2011.
- [118] Yapıyı tasarlayan mimarlık bürosunun resmi web sitesi, <http://www.burohappold.com/> , 18 Nisan 2011.
- [119] Yapının aldığı ödül ile ilgili web sitesi, <http://www.raic.org/> , 18 Nisan 2011.
- [120] Yapıyla ilgili bilgilerin ve fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.busby.ca/> , 18 Nisan 2011.
- [121] Bir kompozit ahşap üretici firmanın web sitesi, www.trada.co.uk, 18 Nisan 2011.
- [122] Yapıyla ilgili bilgilerin ve fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.arcspace.com/> , 18 Nisan 2011.
- [123] Yapıyla ilgili fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.architetturadipietra.it/> , 18 Nisan 2011.

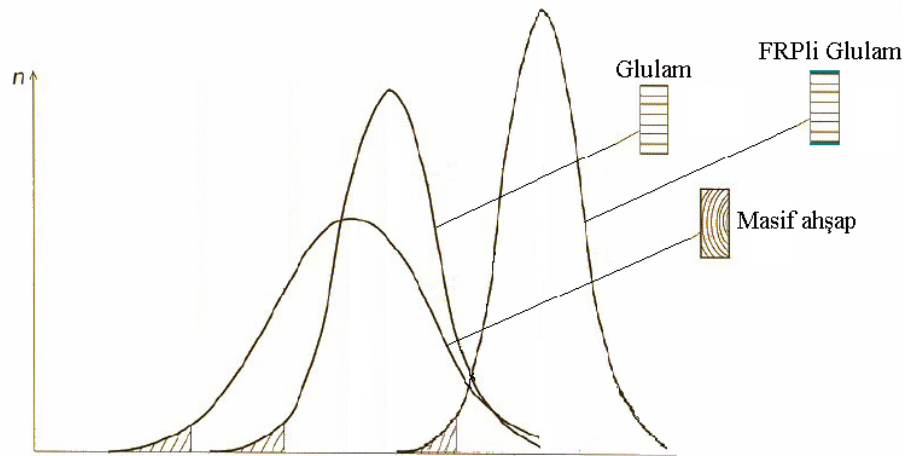
- [124] Çatı makaslarıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, www.woodtruss.com, 18 Nisan 2011.
- [125] NAFI Timber Manual Datafile SS7 - Architectural Timber Trusses, (2005), Avustralya.
- [126] Bir kompozit ahşap çatı makası üretici firmanın web sitesi, <http://www.dwbgroup.co.uk/>, 20 Nisan 2011.
- [127] Makaslarda çaprazlama elemanlarının kullanımını gösteren bir web sitesi, <http://toolboxes.flexiblelearning.net.au/demosites/>, 20 Nisan 2011.
- [128] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, APA (1996), Case study.
- [129] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.gruppoemma.it/>, 20 Nisan 2011.
- [130] Yapıyla ilgili fotoğrafların yer aldığı web sitesi, <http://www.ixcube.com/>, 20 Nisan 2011.
- [131] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://www.gruppoemma.it/>, 20 Nisan 2011.
- [132] Harris, R., Dickson, M., Kelly, O., (2004). "The Use of Timber Gridshells for Long Span Structures", *8th International Conference on Timber Engineering, 2004*, Lahti, Finlandiya, WCTE.
- [133] Türkçü H. Ç., (2003). Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınları, İstanbul.
- [134] Colombiya Üniversitesi resmi web sitesi, <http://www.columbia.edu/>, 20 Nisan 2011.
- [135] Radyal kubbe şemasının yer aldığı web sitesi, <http://www.fgg.uni-lj.si/>, 20 Nisan 2011.
- [136] Kubbe tiplerinin yer aldığı web sitesi, Stabwerkschalen- Strukturen, <http://www.lt.ar.tum.de/>, 20 Nisan 2011.
- [137] Ertaşan, E., (2005). The Performance of Medium and Long Span Timber Rood Structures: A Comparative Study Between Structural Timber and Steel", ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [138] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, <http://www.nzwood.co.nz/>, 20 Nisan 2011.
- [139] Yapının dış cephe fotoğrafının yer aldığı web sitesi, <http://en.wikipedia.org/>, 20 Nisan 2011.
- [140] Toussaint, M., H., (2007). A Design Tool for Timber Gridshells-The Development of a Grid Generation Tool, MSc. Thesis, TU Delft, Hollanda.
- [141] Yapının dış cephe fotoğrafının yer aldığı web sitesi, <http://www.mosinnagant.net/>, 20 Nisan 2011.
- [142] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, <http://oak.arch.utas.edu.au/>, 20 Nisan 2011.
- [143] Yapıyı tasarlayan mimarlık bürosunun resmi web sitesi, <http://www.richardrogers.co.uk/>, 20 Nisan 2011.

- [144] Paoli C., (2007). Past and Future of Grid Shell Structures, Massachusetts Institute of Technology, Master of Engineering Thesis, ABD.
- [145] Harris, R., Roynon, J., (2008). "The Savill Garden Gridshell design and construction", *10th World Conference of Timber Engineering*, 2-5 June 2008, Miyazaki, Japonya.
- [146] Pirazzi C., Weinand Y., (2006). "Geodesic Lines on Free-Form Surfaces - Optimized Grids for Timber Rib Shells", *World Conference in Timber Engineering WCTE*, Portland, ABD.
- [147] Kensek K., Leuppi J., Noble D., (2000). "Plank Lines of Ribbed Timber Shell Structures", *ACADIA 2000*, Catholic University, Washington D.C, ABD.
- [148] Bir kompozit ahşap üretici firmanın resmi web sitesi, www.cowleytimberwork.co.uk, 20 Nisan 2011.
- [149] Linkwitz K., (2002). "On Some Peculiarities of Timber Shells Concerning FormFinding, Manufacturing, Building Physic", *Lightweight Structures in Civil Engineering International Symposium*, 24-28 Haziran, Varşova, Polonya.
- [150] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı web sitesi, Dresden Teknik Üniversitesi, Ahşap Yapı Tasarım Dersi sunumu, <http://tu-dresden.de/>, 19 Nisan 2011.
- [151] Kelly, O., Harris, R., Dickson, M., Rowe, J., "Construction of the Downland Gridshell", *Building Research & Information*, Volume 31, Issue 6 Kasım 2003, syf: 427 – 454.
- [152] Buri H., (2006). "Die Technik des Origami im Holzbau – Faltwerkkonstruktionen aus BSP-Elementen", *5. Grazer Holzbau-Fachtagung 2006 Proceedings*, s: 1-13.
- [153] Buri H., (2008). "Origami - Folded Plate Structures, Architecture", *WCTE 2008 Proceedings*, Japonya.
- [154] Buri, H., (2006). "Folded Plate Geometries for Timber Constructions", *EPFL-L'IBOIS Laboratuvarı*, ders sunumu.
- [155] Weinand Y., (2009). "Innovative Timber Constructions", *IASS Sempozyum*, Valencia, İspanya.
- [156] Buri H., Weinand Y., (2009). "Gefaltet", *Holztragwerke*, sayı:21, syf:18-22.
- [157] Buri H., Weinand Y., (2005). "Faltwerk für alle Töne", *Ingenieur-Holzbau*, 2: 20-24.
- [158] Hudert M., Weinand Y., (2009). "Tragendes Holzgewebe", *Holzforschung Schweiz Bulletin SAH*, 1: 7-9.
- [159] Yapıyla ilgili bilgilerin yer aldığı mimarlık web sitesis, <http://www.designboom.com/> , 20 Nisan 2011.
- [160] Pompidou Centre, *Yapı Dergisi*, Ekim 2010, 347:72-78.
- [161] André A., (2006). *Fibres for Strengthening of Timber Structures*, Luleå University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, Doctor of Philosophy, İsveç.
- [162] Irmak Okulları resmi web sitesi, <http://www.irmak.k12.tr/>, 24 Nisan 2011.

GLULAM ELEMANLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Büyük yükler altında homojen yapıda olmayan ahşabın yetersizliği, glulam elemanların üretilmesiyle aşılabilmektedir. Bunun bir ileri adımı, çelik ve betonda olduğu gibi, en önemlileri cam-karbon-aramid olan fiber takviye plastikleri/polimerleri (FRP) kullanmaktır. Yapılan çalışmalarda, elemanların yük taşıma kapasitesini ve eğilme dayanımını arttırmak için kullanılan bu polimerler, oldukça olumlu sonuçlar vermiştir (Şekil Ek 1.1). FRP'ler ile glulam elemanlara takviye uygulamanın yararları:

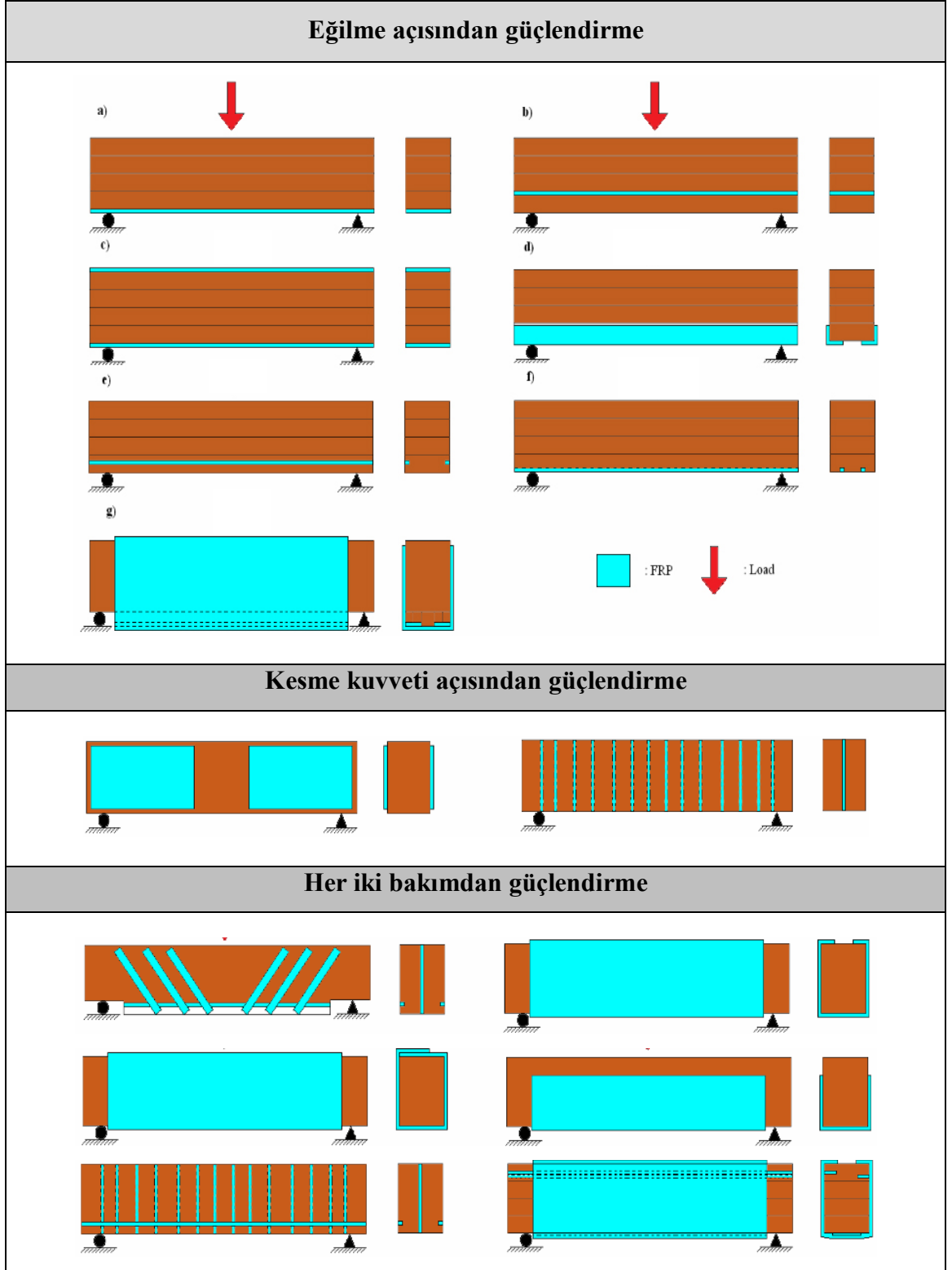
- Mekanik özelliklerini arttırmak,
- Elemanların boyutlarının azalmasını sağlamak, dolayısıyla maliyeti azaltmak,
- Daha düşük dayanım sınıfından tabakalar kullanarak eleman üretebilmek,
- Benzer bir yapıya göre (çelik-betonarme) yapının toplam maliyetini azaltmaktır.



Şekil Ek A.1 Gauss dağılımına göre şematik dayanım değişimi [161].

Eğilmeye karşı glulam elemanların çekme ve kesme gerilmelerine karşı dayanımlarının artması için Çizelge Ek 1.1’de verilen FRP uygulamaları yapılabilir.

Çizelge Ek A.1 Glulam elemanlarda FRP uygulama yöntemleri [161].



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Didem Güneş YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1987 - İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce ve İtalyanca
E-posta : didgy@superposta.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı	2011
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü	2009
Lise	Sayısal	Özel İstek Vakfı Bilge Kağan Fen Lisesi	2004