

**GÜÇLENDİRİLMİŞ AHŞAP YAPI ELEMANI TASARIMI
VE BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Emre ERGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2011

ANKARA

Emre ERGİN tarafından hazırlanan GÜÇLENDİRİLMİŞ AHŞAP YAPI ELEMANI TASARIMI VE BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdullah TOGAY
Tez Danışmanı, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL
Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hakan KESKİN
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Abdullah TOGAY
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 30/11/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Emre ERGİN

**GÜÇLENDİRİLMİŞ AHŞAP YAPI ELEMANI TASARIMI
VE BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Emre ERGİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2011

ÖZET

Bu çalışmada, ahşap dışındaki bir takım malzemelerin katılımıyla bu malzemelerin güçlü yanlarının kullanıldığı güçlendirilmiş kompozit ahşap yapı elemanı tasarımı gerçekleştirilmiş ve bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, ahşap katmanlarda, yapılarda yaygın olarak kullanılması nedeniyle sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*), ara katmanlarda ise gözenekli yapıdaki alüminyum ve fiber esaslı malzemeler kullanılmış, Polivinilasetat (PVAc) D3 ve Desmodur-VTKA tipi tutkallarla preslenerek 7'si masif 13 katmanlı lâmine kompozit malzeme haline getirilmiştir. Deneylerde, toplam 164 adet örnek üzerinde, yoğunluk, yapışma, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve basınç direnci belirlenmiş, elde edilen sonuçlar masif ve sadece masif malzemedan üretilen lamine ahşap malzemelere oranla test edilmiştir. Elde edilen 7 malzeme türü açısından 6 farklı deneyde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, basınç deneyinde ara katman malzemesi dışındaki etkenlerin önemli bir farklılığa neden olmadığı, bunun dışındaki tüm deney ve numuneler için kullanılan değişkenlerin (Tutkal, Ara katman malzemesi) etkili birer faktör olduğu görülmüştür. Bu bağlamda tüm deneyler açısından Poliüretan tutkalın mukavemeti artırdığı, yapışmada ara katman malzemesinin zayıflatıcı etki yaptığı, THP numunelerde ara katman malzemesinin tutkal ayrılmasına bağlı olarak güçlendirme etkisi bulunmadığı, özellikle fiber malzemenin malzemedede elastiklik modülünü düşürerek elastikliği artırdığı ve

en önemli sonuç olarak THD etkilere karşı ara katman malzemesinin yüksek oranda bir mukavemet artışı sağladığı, bu artışın alüminyum esaslı ara katman malzemesinde daha yüksek seviyede olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 705.5.001
Anahtar Kelimeler : Ağaç malzeme, kompozit, teknik özellikler
Sayfa Adedi : 75
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Abdullah TOGAY

**STRENGTHENED WOOD CONSTRUCTION MATERIALS DESIGN
AND DETERMINATION OF SOME TECHNICAL PROPERTIES**

(M.Sc. Thesis)

Emre ERGİN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2011

ABSTRACT

In this study, reinforced composite timber structural element is designed with participation of some materials other than wood by using strong properties of these materials. The purpose of this study is to determine some technical properties of this structural element. For this purpose, solid pine (*Pinus sylvestris* L.) is used in the layers of solid wood as it is widely used in wood structures; aluminum and fiber materials in the porous structure are used between layers of solid wood. All these materials are pressed by using glue type Polyvinyl acetate (PVAc) and Desmodur-VTKA and has become laminated composite material. This composite consists of 13 layers of which 7 are solid wood and 6 are porous materials. In this experiment; the density, adhesion, flexural strength, flexural modulus of elasticity, compression set resistance of a total of 164 samples were determined. Obtained results are compared with the properties of solid wood and laminated wood. At the end; it is observed that every factor except the porous materials used in the composite sample are statistically not significant in the compression set resistance experiment; and every factor (glue, porous materials) used in composite sample are statistically significant in the density, adhesion, flexural strength, flexural modulus of elasticity experiments. In conclusion, in all the experiments; type Desmodur-VTKA glue raised the strength, porous materials attenuated the bonding,

porous materials attenuated strength in the parallel force to the line of glue, specially fiber material enhance flexural performance of composite material by decreasing the flexural modulus of elasticity. As the most important result; porous materials highly enhance strength in the effects of perpendicular to the line of glue, and this strength is better in aluminum material than fiber material.

Science Code : 705.5.001

Key Words : Wood materials, composite, technical properties.

Page Number : 75

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Abdullah TOGAY

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocalarım Doç. Dr. Abdullah TOGAY ve Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL' e, desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ ve Doç. Dr. Hakan KESKİN' e, çalışmalarım yardımcı olan arkadaşlarım Can ŞEKER, Erdal KATKICI, Fatih TEMEL ve Murat UZEL,'e Endüstriyel Teknoloji Eğitimi ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve personeline, beni bu çalışmada yalnız bırakmayan ve desteğini hep yanımda hissettiğim eşim Özlem ERGİN' e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Lâminasyon Tekniği.....	4
2.1.1. Lâminasyonda katların düzenlenmesi.....	6
2.1.2. Lâminasyonda uygulanan birleştirmeler.....	7
2.2. Lâmine Ahşap Malzeme	9
2.2.1. PSL.....	10
2.2.2. LSL	10
2.2.3. OSL.....	10
2.2.4. LVL.....	11
2.2.5. Glulam.....	11
2.3. Kompozit Malzeme.....	14
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	16
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	32

	Sayfa
4.1. Ağaç Malzeme.....	32
4.2. Ara Katman Malzemesi	32
4.2.1. Fiber glass tel file.....	32
4.2.2. Alüminyum tel file.....	33
4.3. Tutkal.....	33
4.3.1. Polivinilasetat	33
4.3.2. Desmodur-VTKA	34
4.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	35
4.4.1. Lâminasyon işlemi.....	35
4.5. Deney Yöntemi.....	37
4.5.1. Yoğunluk.....	37
4.5.2. Eğilme direnci	39
4.5.3. Eğilmede elastikiyet modülü	41
4.5.4. Basınç direnci	42
4.5.5. Yapışma direnci	43
4.6. Verilerin Değerlendirilmesi	45
5. BULGULAR	46
5.1. Yoğunluk.....	46
5.2. Eğilme Direnci	46
5.2.1. THD eğilme direnci	46
5.2.2. THP eğilme direnci.....	49
5.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	52
5.3.1. THD eğilmede elastikiyet modülü	52

	Sayfa
5.3.2. THP eğilmede elastikiyet modülü	55
5.4. Basınç Direnci	58
5.5. Yapışma Direnci	60
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Lamine eleman ıslak kullanım faktörü	5
Çizelge 2.2. Açıklığın kalınlığa oranına göre boyut etkisi düzeltme faktörü.....	5
Çizelge 4.1. PVAc tutkalın teknik özellikleri.....	34
Çizelge 5.1. Yoğunluk Ortalama Değerleri.....	46
Çizelge 5.2. THD eğilme direnci değerleri	47
Çizelge 5.3. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi THD eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları	47
Çizelge 5.4. Tutkal çeşidinin THD eğilme direnci etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	48
Çizelge 5.5. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi sonuçları	48
Çizelge 5.6. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları	49
Çizelge 5.7. THP eğilme direnci değerleri.....	50
Çizelge 5.8. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün THP eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları.....	50
Çizelge 5.9. Tutkal çeşidinin THP eğilme direnci etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları	51
Çizelge 5.10 Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları	51
Çizelge 5.11. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları	52
Çizelge 5.12. THD eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	53
Çizelge 5.13. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi THD elastikiyet modülü değerlerine etkileri Varyans analizi sonuçları.....	53
Çizelge 5.14. Tutkal çeşidinin THD eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	54

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.15. Destek malzemesi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları	54
Çizelge 5.16. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları	55
Çizelge 5.17. THP eğilmede elastikiyet modülü değerleri	56
Çizelge 5.18. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün THP eğilmede elastikiyet modülüne etkileri Varyans analizi sonuçları	56
Çizelge 5.19. Tutkal çeşidinin tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	57
Çizelge 5.20 Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi sonuçları	57
Çizelge 5.21. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları	58
Çizelge 5.22. Basınç direnci değerleri	59
Çizelge 5.23. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün basınç direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları	59
Çizelge 5.24. Destek malzemesi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları	60
Çizelge 5.25. Yapışma direnci değerleri.....	60
Çizelge 5.26. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün yapışma direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları	61
Çizelge 5.27. Tutkal çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları.....	61
Çizelge 5.28 Destek malzemesi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları	62
Çizelge 5.29. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı DUNCAN testi sonuçları	62
Çizelge 6.1. Tez çalışması kapsamında yapılan tüm deneylere ait sonuçlar.....	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lâminasyonda katların düzenlenmesi	6
Şekil 2.2. Yatay ve dikey lâmine elemanlar	7
Şekil 2.3. Liflere paralel basınca maruz kalan lâmine katların düzenlenmesi	7
Şekil 2.4. Lâminasyonda kullanılan en birleştirme şekilleri	8
Şekil 2.5. Lâminasyonda kullanılan boy birleştirme şekilleri	9
Şekil 2.6. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	15
Şekil 4.1. Eğilmede kullanılan düz lâmine edilmiş ağaç malzeme.....	36
Şekil 4.2. Basınçta kullanılan düz lâmine edilmiş ağaç malzeme	36
Şekil 4.3. Tabakalı kompozit laminasyon örneğinde katmanların yerleştirilmesi	37
Şekil 4.4. Yoğunluk deney örneği	39
Şekil 4.5. THD deney örneği.....	40
Şekil 4.6. THP deney örneği	40
Şekil 4.7. Basınç direnci deneyi	42
Şekil 4.8. Basınç direnci deney örneği.....	43
Şekil 4.9. Yapışma direnci deney örneği	43
Şekil 4.9. Yapışma direnci deney düzeneği	44

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. John Balshaw yaya köprüsü.....	12
Resim 2.2. Fransa Metz şehri Pompidou merkezi çatı kurulumu esnasında.....	13
Resim 2.3. 1968 yılında inşa edilen Keystone Wye kavşak köprüsü	13
Resim 4.1. Junior fiber glass tel file	33
Resim 4.2. Alüminyum tel file	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Yükleme noktası ile en yakın mesnet arasındaki mesafe (mm)
b	Eğilme direncinde parça genişliği (mm)
b_1	Elastikiyet modülü tayininde örnek genişliği cm (Teğet ölçü)
b_2	Yapışma yüzeyinin genişliği (mm)
$E_{m,g}$	Elastikiyet modülü N/mm ²
F	Yük $2F/2$ (N)
F_Y	Kopma anındaki kuvvet (N)
$F_2 - F_1$	Yük sehim eğrisinin doğru hattındaki yük oranı artışı (N)
h	Eğilme direncinde parça yüksekliği (mm)
h_1	Elastikiyet modülünde örnek yüksekliği cm (Radyal ölçü)
L	Uygulanan $F/2$ kuvvetleri arasındaki mesafe (mm)
L_s	Mesnetler arası mesafe (mm)
λ	Esneklik modülünün tayini için ölçülen uzunluk (mm)
λ_1	Yapışma yüzeyinin uzunluğu (mm)
M	Hava kuru ağırlık (g)
V	Hava kuru hacim (cm ³)
$W_2 - W_1$	$F_2 - F_1$ 'e karşılık gelen deformasyondaki artış (mm)
δ	Yoğunluk (g/cm ³)
σ	Yapışma direnci (N/mm ²)
σ_E	Eğilme direnci (N/mm ²)

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Akrilonitril-butadin-sitrin
AFRP	Aramid liflerle güçlendirilmiş polimer
CF	Karbon fiber
CFRP	Karbon liflerle güçlendirilmiş polimer
DOL	Yükleme süresi
FRP	Fiberle (lif) güçlendirilmiş polimer
GF	Cam lifi
GFRP	Cam lifiyle güçlendirilmiş polimer
LDPE	Düşük yoğunluk polietilen
LRFD	Yük ve mukavemet faktör tasarımı
LSD	En küçük önemli fark
MAPP	Maleik anhidrid polipropilen
PP	Polipropilen
PSL	Paralel yerleştirilmiş kereste
SS	Standart sapma
THD	Tutkal hattına dik
THP	Tutkal hattına paralel
V	Varyasyon katsayısı
VANOVA	Çoklu varyans analizi
WPC	Ahşap plastik kompozit
WPVC	Ahşap poli vinil klorit
Xmax	En büyük değer
Xmin	En küçük değer
Xort	Aritmetik ortalama

1. GİRİŞ

Kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı yalıtkan olması, doğal yapısından kaynaklanan tekstür, renk ve estetik özellikleri nedeniyle ağaç malzemeye karşı talep her geçen gün artmaktadır. Bu talebin karşılanabilmesi için ormanların bilimsel esaslara uyularak işletilmesi ve kesilen ağaçların verimli kullanılması gerekmektedir [1].

Ahşap, sürdürülebilir ve kolay temin edilebilir bir ürün olması bakımından, asırlardır kullanılan en yaygın doğal yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır [2]. Özellikle son dönemlerde; geçmişte en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan ahşap, özellikle yüksek dayanım gerektiren büyük açıklıklı strüktürlerde de verimli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [3].

Masif ağaç malzemenin büyük boyutlu ve kavisli elemanlarda tek parça olarak kullanılması, gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan elverişli değildir. Büyük boyutlu taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzeme kullanılması imkânları sınırlıdır. Çünkü, ağaç malzemede bulunan budak, çürük, çatlak, lif kıvrıklığı (spiral liflilik) vb. kusurların tamamen giderilmesi mümkün görülmemektedir. Kavisli elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça olarak kullanılması fire oranını artırdığından ekonomik değildir. Ayrıca, eğri forma göre kesilen ağaç malzemede diyagonal liflilik oluşacağından direncini olumsuz etkiler [1].

Ağaç malzemenin verimli kullanılabilmesi, kusurlarından arındırılması ve eğri formulu imalâtlarda diyagonal liflilik oluşmaması için lâminasyon tekniği kullanılmaktadır. Böylece küçük boyutlu ağaç malzemelerden yüksek kalitede ve istenilen formda lâmine masif ağaç malzeme üretilebilmektedir. Lâminasyon tekniği ağaç malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkân sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif ağaç malzemedeki iyi olmaktadır [1].

Ağaç işleri endüstrisinde her geçen gün daha yaygın kullanım alanı bulan lâmine ağaç malzeme, odun lamellerin özellikle lifleri birbirine paralel olarak

yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Lâmine elemanı oluşturan katlar arasındaki rutubet farkı % 3'ü aşmamalıdır [4]. Aksi halde, farklı çalışma şartları sonucu oluşan gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aşarak çatlamalara sebep olabilir [5]. Lâminasyon işleminin yapıldığı ortamın sıcaklığı en az 15 °C, bağıl nemi ise % 40-70 arasında olmalıdır [4].

Lâmine edilmiş ağaç malzemelerde biçim değişimleri oluşmaması için lâmine katların düzenlenmesinde, yıllık halkaların konumuna dikkat etmek gerekmektedir. Bunun sebebi ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır [6].

Lâminasyon işleminde kullanılan odunun yapısı, yüzey pürüzlülüğü, pres basıncı, presleme süresi ve kullanılan tutkalin teknik özellikleri yapışma direnci üzerine etkili olmaktadır [7]. Ahşap malzemelerde yoğun olarak kullanılan tutkallar dayanıklılıklarına göre; D1,D2, D3 ve D4 şeklinde gruplandırılırlar [8]. Karışım ihtiyacı duymaması ve kısa presleme süresi [9] gibi avantajlarından ötürü D3 yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Günümüzde, gelişen üretim teknolojileri ile tasarım gereksinimlerini daha iyi şekilde karşılayacak işlenmiş ahşap ürünler üretilmeye başlanmıştır [2]. Önemli bir yapı ürünü olan ahşabın, güçlendirilmesi ile ilgili son dönemde yapılan çalışmalara bakıldığında, ahşap dışındaki bazı malzemelerin uygun tutkallar kullanılarak lâminasyona katıldığında lâminasyonu güçlendirmek anlamında etkileyici sonuçlar verdiği görülmektedir. Son 20 yılda yapısal elemanları güçlendirmek için fiber katkılı polimerlerin kullanımı, hem yapısal performansları açısından hem de ekonomik olarak etkili olmuştur [10]. Ahşap lâminasyon uygulamalarında ahşap dışındaki malzemelerin kullanımı her geçen gün artmakta ve lâminasyonda ahşabın teknik özelliklerini arttıran ekonomik ürünleri kullanmak daha iyi sonuçlar için önemli bir arayışı oluşturmaktadır.

Problemin tanımlanması

Ahşap malzeme sahip olduğu özellikler sayesinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Yapı sektörü de bu alanlardan bir tanesidir. Ağırlığı az olmasına rağmen dayanımı yüksek olan ahşap malzemeler, yapılarda kullanıldığında hafifliği sayesinde yapıya ekstra bir yük getirmemektedir. Doğal bir malzeme olan ahşap hem çevre hem de enerji dostu olarak yapı sektöründe tercih edilen bir malzeme olma özelliği taşımaktadır.

Bu önemli özellikleri ile geniş bir kullanım alanına sahip olan masif ahşap malzemenin doğal yapısından kaynaklanan belli kusurları bulunmaktadır. Ahşabın kullanım alanlarının yaygınlaşmasını engelleyen bu kusurların giderilmesi gerekmektedir. Ahşabın doğal yapısından kaynaklanan bu kusurların giderilmesi için lâminasyon işlemi yapılmaktadır. Ahşabın kusurlu bölgelerinden arındırılarak yapılan lâminasyon işlemi son dönemlerde ahşap dışındaki bazı farklı malzemelerin de lâminasyona katılmasıyla daha da farklı bir boyut kazanmıştır.

Ahşabı kusurlarından arındırmak ve daha da güçlü bir yapı malzemesi haline getirmek için kullanılan ahşap dışı malzemelerin denenmesine devam edilmelidir. Genel olarak plakalar halindeki değişken malzemelerin lâminasyona katıldığı görülmüştür. Gözenekli yapıda ahşap dışı malzemelerin ahşap lâminasyona katıldığı bir çalışmaya ise rastlanmamıştır.

Bu çalışma ile; gözenekli yapıdaki bazı endüstriyel ürünlerin ahşap lâminasyon işlemine katılması ile yeni bir kompozit lâminasyon ürününün geliştirilmesi hedeflenmiş, geliştirilen ürünün, masif ve masif ahşap lâminasyon ile karşılaştırarak bazı teknik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Lâminasyon Tekniği

Ağaç işleri endüstrisinde her geçen gün daha yaygın kullanım alanı bulan lamine ağaç malzeme, TS EN 386'ya göre; ahşap kaplamaların lifleri birbirine paralel olarak yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır [11].

Laminasyon tekniği ağaç malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif ağaç malzemenin daha iyi olmaktadır [1]. Sağlam parçalardan elde edilen lamine ağaç malzeme, kusursuz olması yanında lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemelerden oluşturulduğu için estetik değeri de yüksektir [12].

Lâmine ahşap elemanlar kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadırlar. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lâmine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4-50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş (GLULAM = Glued Laminated Timber) adı verilmektedir. Mobilya endüstrisinde kullanılan küçük boyutlu masif ağaç lâmine elemanların üretiminde ise uygulanan forma göre maksimum 3,2 mm kat kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu tür ahşap lâmine elemanlar LVL (Laminated Veneer Lumber) ya da MİCROLAM olarak adlandırılmaktadır [13].

Lamine elemanın üretiminde kullanılacak olan ağaç malzemenin rutubet miktarı, son ürünün kullanılacağı ortama göre belirlenmektedir. Eğer lamine eleman açık ortamda kullanılacak ise ağaç malzeme rutubeti % 16-19, kuru ortamda kullanılacak ise %16' yı aşmamalıdır. Yaş ortamda kullanılacak lamine elemanın direnç değerlerinin hesaplanmasında düzeltme katsayısı devreye girmektedir. Bununla ilgili düzeltme katsayıları Çizelge 2.1 de verilmiştir [14] .

Çizelge 2.1 Lamine eleman ıslak kullanım faktörü.

Direnç Tipleri	Islak Kullanım Faktörü
Eğilme	0,80
Liflere Paralel Basınç	0,73
Liflere Paralel Çekme	0,80
E-Modülü	0,833
Yatay Makaslama	0,875
Liflere Dik Basınç	0,667
Lifler Dik Çekme	0,875

Eğilme kuvvetlerine maruz kalan büyük boyutlu lamine elemanlarda kalınlık 30.5 cm dayanak noktaları arasında kalan açıklığın kalınlığa oranı 21 olmalıdır. Eğer bu oran 21'den az yada fazla ise eğilme direncinin hesaplanmasında boyut etkisi düzeltme faktörü aşağıda eşitlikten hesaplanabileceği gibi, Çizelge 60.2.' deki değerlerden yararlanarak da bulunabilir [14].

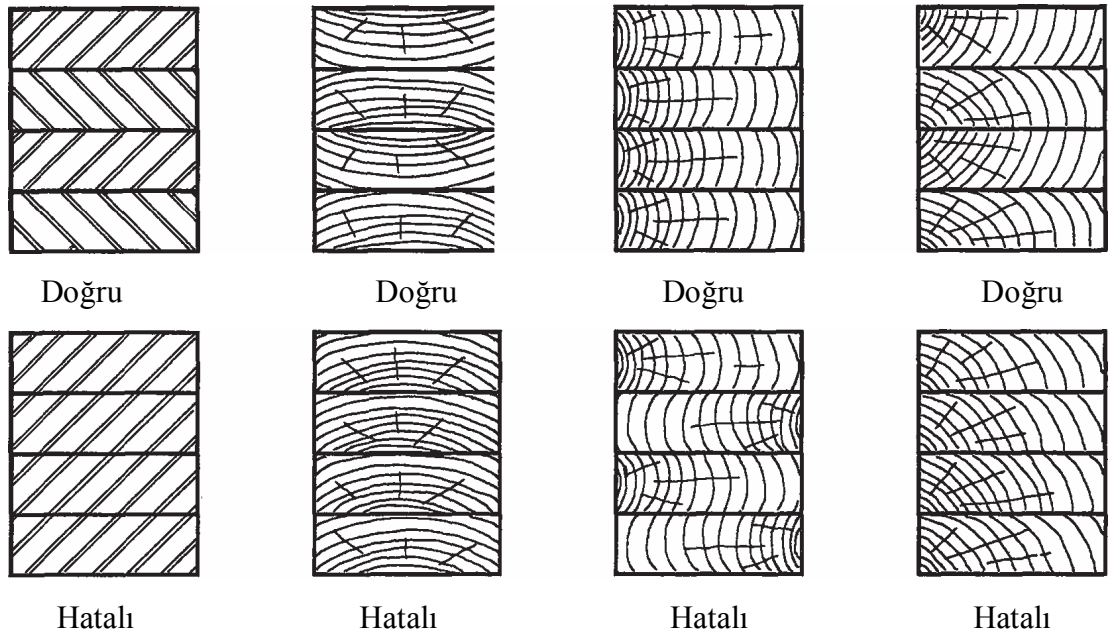
Çizelge 2.2. Açıklığın kalınlığa oranına göre boyut etkisi düzeltme faktörü

Açıklığın Kalınlığa Oranı	Düzeltilme Faktörü
7	1,06
14	1,02
21	1,00
28	0,98
35	0,97

2.1.1. Lâminasyonda Katların Düzenlenmesi;

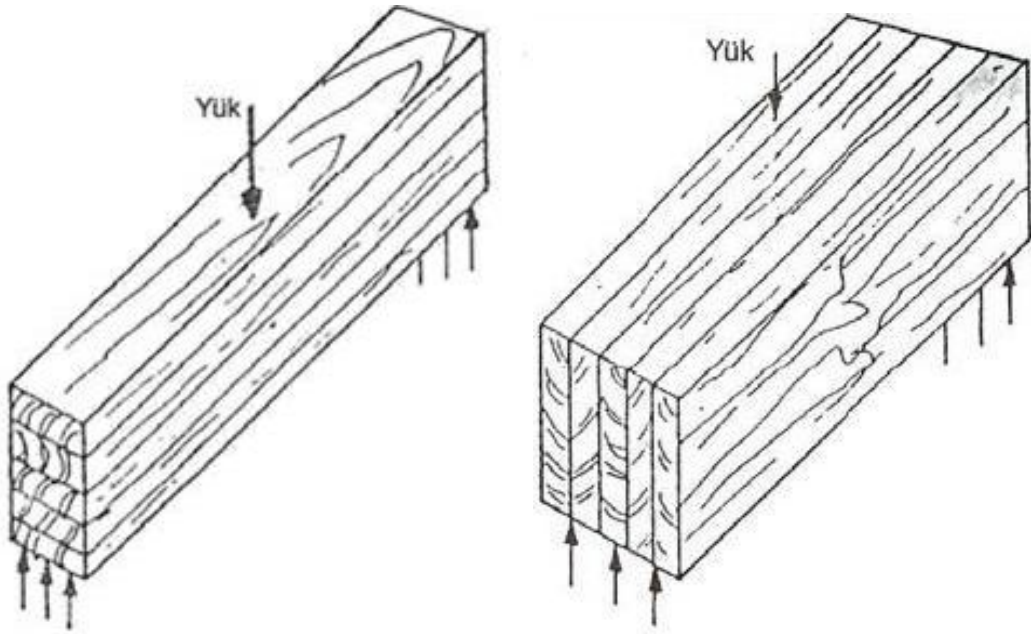
Lâmine edilmiş masif ağaç malzemede biçim değişimleri oluşmaması için lâmine katlarının düzenlenmesinde, yıllık halkaların konumuna dikkat etmek gerekmektedir. Bunun sebebi ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır. Ağaç türlerine göre daralma miktarları, yıllık halkalara teğet yönde % 3,5 -15, radyal yönde % 2,4 -11, liflere paralel yönde % 0,1 - 0,9 arasında değişir [6].

Lâmine katlarının düzenlenmesinde farklı çalışma sonucu ortaya çıkan gerilmeleri dengeleyecek kat düzenlemesi yapılmalıdır. Aksi takdirde düzeltilemeyen biçim değişimleri meydana gelebilir. Bu maksatla yapılacak kat düzenlemesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Lâminasyonda katların düzenlenmesi [15]

Eğilme kuvvetinin etkisinde kalan lamine elemanlar (kirişler), uygulanan yükün yönüne göre yatay lamine elemanlar ve dikey lamine elemanlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [16]. Yük tutkal hattına dik uygulandığında yatay, yük tutkal hattına paralel olarak uygulandığında dikey lamine eleman olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3'de yatay ve dikey lamine elemanlar görülmektedir [17].

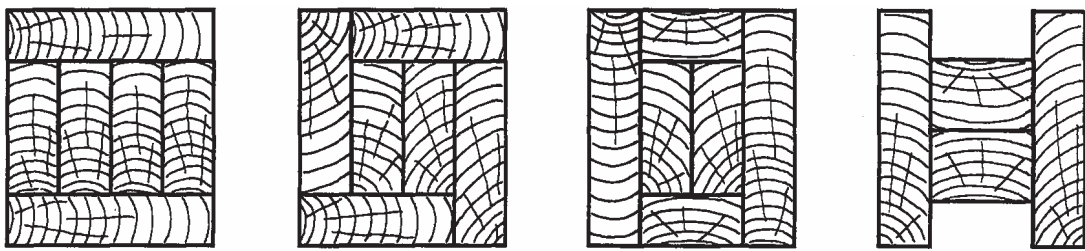


Yatay lâmine eleman

Dikey lâmine eleman

Şekil 2.2 Yatay ve dikey lâmine elemanlar [17]

Liflere paralel basınç kuvvetine maruz kalan lâmine elemanlarda katların düzenlenmesi şekil 2.3'te gösterilmiştir [1].



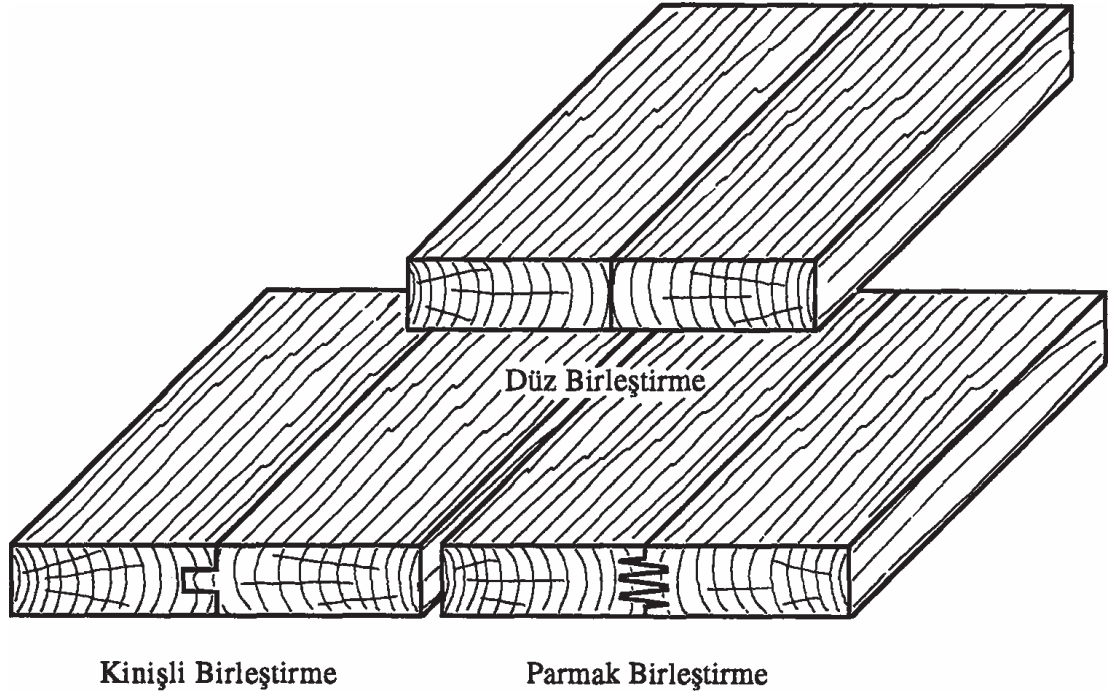
Şekil 2.3 Liflere paralel basınca maruz kalan lâmine katların düzenlenmesi [18]

2.1.2. Lâminasyonda Uygulanan Birleştirmeler

Lâminasyonda kullanılan ağaç malzemenin fire oranını düşürmek ve gerekli lâmel boyutlarını elde etmek için, lâmine elemanı meydana getiren katlarda en ve boy birleştirmeleri yapılmalıdır.

En birleştirmeler:

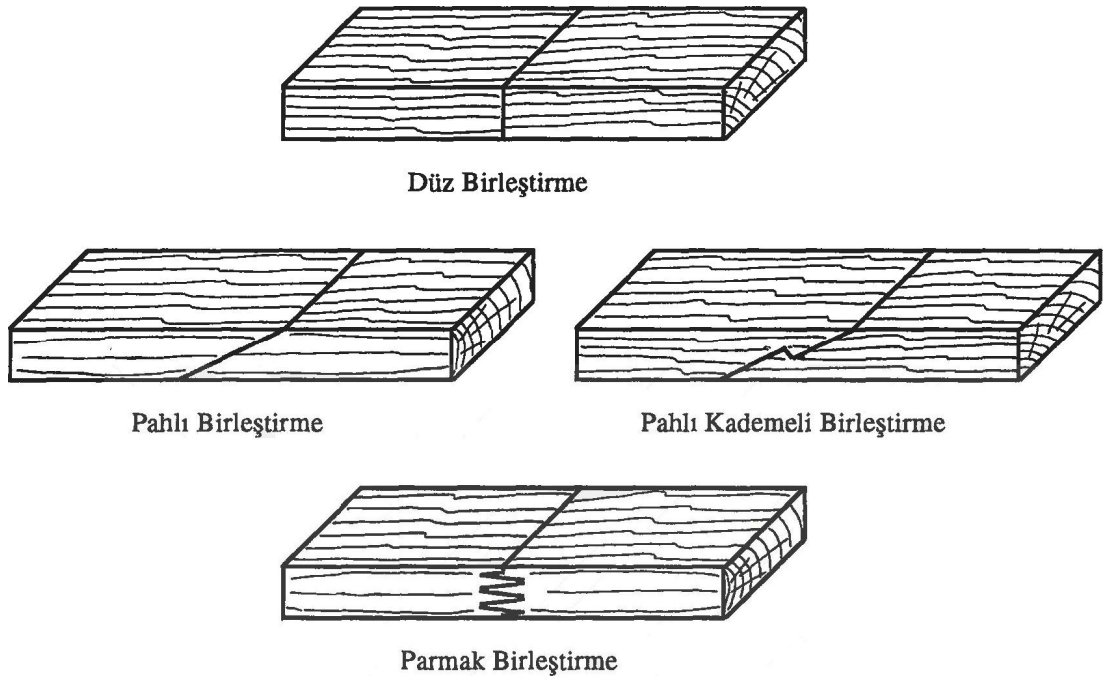
Lâminasyonda düz, kinişli ve parmak birleştirmeler kullanılmaktadır (şekil 2.4). Seri üretime uygunluğu nedeniyle uygulamada parmak birleştirmeler tercih edilmektedir.



şekil 2.4. Lâminasyonda kullanılan en birleştirme şekilleri [19]

Boy birleştirmeler

Lâminasyonda boy birleştirmeler olarak; düz, pahlı ve parmak birleştirmeler kullanılmaktadır [şekil 2.5].



Şekil 2.5. Lâminasyonda kullanılan boy birleştirme şekilleri [20]

2.2. Lâmine Ahşap Malzeme

Endüstride her geçen gün daha yaygın kullanım alanı bulan “lâmine ahşap malzeme” TS EN 386 da “odun lamellerin özellikle liflerin paralel olarak yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı” olarak tanımlanmaktadır[4].

Binalarda kullanılan masif ağaç malzeme yerine kaplama ve yongalardan konstrüksiyon malzemesi olarak büyük boyutlu ahşap malzemeler (PSL, LSL, OSL, LVL, GLULAM) üretilmektedir. Yapısal bileşik keresteler (Structure composite lumber) denilen bu malzemeler yüksek kaliteli inşaat malzemesi ihtiyacını karşılamak için geliştirilmiş ahşap mühendislik ürünleridir. Bunun sebebi, büyük boyutlu masif ağaç malzemelerin ihtiva ettikleri doğal büyüme karakteristikleri (budak, çatlak, lif kıvrıklığı çürük vb.) nedeniyle tek parça halinde kullanımlarının sakıncalı olmasıdır [21].

2.2.1. PSL (Paralel stand lumber)

Soyma kaplama şerit-yongalar (kalınlık 3 mm, genişlik yaklaşık 20 mm, uzunluk en az 60 cm) kullanım amacına uygun sentetik reçinelerle mikrodalga enerjili fasılasız preslerde sıkıştırılarak büyük boyutlu parçalar (enine kesit 280 x 485 mm, uzunluk 20 m'ye kadar) haline getirildikten sonra istenilen ölçülerde, kusursuz kereste "PARALLAM" elde edilmektedir [21].

2.2.2. LSL (Laminated stand lumber)

Görünüş olarak OSB'ye benzer ancak kavak ve söğüt gibi ağaçlardan elde edilen daha uzun şerit yongalardan (uzunluk 300 mm, kalınlık 0,7 – 1,2 mm) üretilir. Uzun şerit yongalar bitmiş ürünün uzunluk yönüne paralel olarak dizilip üzerlerine polimer – difenilmetan – diisosiyanat tutkalı püskürtülerek buhar enjeksiyonlu preste sertleştirilir. Böylece genişliği 2,5 m, kalınlığı 140 mm ve uzunluğu 14,5 m kadar bloklar halinde elde edildikten sonra istenilen boyutlarda keresteler biçilir [21].

2.2.3. OSL (Oriented stand lumber)

LSL' nin farklı bir çeşidi olup düşük kaliteli sert ağaçlardan elde edilen şerit yongalardan üretilir. Şerit yongaların yönlendirilmesi OSB' ye benzer, ancak OSB levha halinde üretildiği halde OSL kalın prizmalar halinde üretilerek istenilen boyutlarda kerestelere biçilir [21].

2.2.4. LVL (Laminated veneer lumber)

Piyasada "Microlam" adıyla bilinen LVL Türkiye'de bazı kontrplak fabrikalarında bükme mobilya amacıyla kullanılmak üzere üretilmektedir. Bu maksatla, çam, ladin, okaliptüs, kavak ve söğüt gibi ağaçların kaplamalık tomruklarından elde edilen soyma kaplamalar (kalınlık 3 – 3,2 mm) genellikle lif yönleri birbirine paralel olarak dizilir. Yapıştırıcı olarak fenol-formaldehid tercih edilmekle beraber kullanım amacına göre melamin-formaldehid, melamin-üre-formaldehid ve poliüretan

tutkalları kullanılabilir. Kontrplak üretimindeki yöntemle sürülen tutkal ağırlıkça LVL' nin %6-7 kadardır. Pres sıcaklığı 125 – 150 °C olup kontrplaktan kalın olduğundan presleme süresini kısaltmak için mikrodalga ile ön ısıtma ya da yüksek frekans ile ısıtma işlemi uygulanır. LVL kalınlığı genellikle 19 – 45 mm olup isteğe göre 89 mm' ye kadar, genişliği ise 1800 mm olabilir [21].

Finlandiya'da I kirişleri, Almanya'da yapılarda büyük boyutlu malzeme olarak, İsviçre'de çatı kaplamasında, Fransa'da kapı ve pencere çerçevesinde, ABD ve Avrupa'da kamyon, gemi, vapur döşemeleri yanında az miktarda mobilya endüstrisinde değerlendirilmektedir [21].

2.2.5. Glulam (Glued Laminated Timber)

Büyüme kusurlarından arındırılan kereste fabrikası atıkları parmak birleştirme (finger joint) yöntemi ile sentetik reçineler kullanılarak birleştirilmekte ve istenilen ölçülerde kusursuz tutkallı kirişler üretilmektedir. Ölçüleri ve birleştirme kesitleri üretim yerinde projeye göre belirlenen parçalar cami, kilise, pazaryeri, silo, kapalı spor salonu gibi yerlerde büyük açıklıkların güvenli bir şekilde aşılmasında kullanılabilir. Bunlara ilaveten böylece yapı konstrüksiyonlarında zamandan ve hammaddeden önemli tasarruf sağlanmaktadır [21].

Glulam ile yapılmış bazı yapılara ait resimlere aşağıda yer verilmiştir.



Resim 2.1. John Balshaw yaya köprüsü [22]



Resim 2.2. Fransa Metz şehri Pompidou merkezi çatı kurulumu esnasında [23]



Resim 2.3. 1968 yılında inşa edilen Keystone Wye kavşak köprüsü (Üç mafsallı kemer köprü) [24]

2.3. Kompozit Malzeme

Malzemeler genellikle; metallere, seramikler, ve organik malzemeler olarak 3 ana gruba ayrılırlar [25]. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana grubun yanında, aynı yada farklı gruplardan iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, yada yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler, karma (kompozit) malzemeler olarak adlandırılırlar [26]. Genel olarak, kompozit terimi farklı iki yada daha fazla materyalin değişik yapıştırıcılarla bir araya getirilerek oluşturulan malzemeleri ifade etmektedir [27].

Kompozit malzemelerin avantajı bileşenlerin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerin üretimiyle aşağıdaki özelliklerden biri veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanır. Bu özellikler şu şekilde sıralanmıştır [25].

- Dayanım
 - Yorulmaya karşı dayanım
 - Aşınmaya karşı dayanım
 - Korozyona karşı dayanım
- Kırılma Tokluğu
- Yüksek Sıcaklık Özellikleri
- Isıl İletkenlik
- Elektrik İletkenliği
- Akustik İletkenlik
- Rijitlik
- Ağırlık
- Fiyattır.

Kompozit malzemelerin yapısı incelendiğinde, ortak bir dayanım mekanizması olduğu görülür. Dayanım mekanizması, takviyenin geometrisine çok sıkı şekilde bağlıdır. Bu nedenle kompozit malzemeleri, örnek takviye biriminin geometrisi göz

önüne alınarak sınıflandırmak uygundur [25]. Takviye biriminin geometrisine göre kompozit malzemeler şu şekilde sınıflandırılır.



Şekil 2.6. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması [28]

Bu çalışmanın da özünü oluşturan çok katmanlı tabakalı kompozitler, birbirlerine bağlanmış olan en az iki farklı malzeme katmanından oluşur. Tabakalaşma daha kullanışlı bir malzemeye ulaşmak için bileşiği oluşturan katmanlar ve bağlanan malzemelerin en iyi durumlarını birleştirir [29].

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan literatür taramalarında ahşap lâminasyon tekniği ile kompozit malzeme üretimi alanında bir çok çalışma yapıldığı anlaşılmıştır. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda ahşabın, ahşap dışında bazı malzemelerle lâmine edildiği ve bu sayede farklı kompozit ürünler elde edildiği görülmüştür. Aşağıda lâminasyon işlemi ile ilgili literatür araştırmasında rastlanan bilimsel çalışmalara yer verilmiştir.

Ahşap, insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Bugün hala yerleşim, ticari ve endüstriyel binalar hem de iskeleler, köprüler, istinat duvarları ve güç iletimi kuleleri gibi çeşitli yapıların inşasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde evlerin yaklaşık %90'ı ahşaptır [30].

Eski dönemlerde Anadolu'da sıkça kullanılan ahşap yapılar, günümüze uzanan süreç içinde kullanım alanını kaybetmiş ve yerini betonarme karkas yapılara bırakmıştır. Son dönemlerde, özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında Türkiye'de ahşap yapı uygulamalarına, depreme karşı dayanımlı olması nedeniyle geri dönüş başlamıştır. Günümüzde Türkiye'de birçok firma ahşap konut üretimi ve uygulaması yapmaktadır [31]. Ahşap başka hiçbir malzemede bulunmayan özelliklere sahip olduğundan prefabrike yapımı için en uygun malzemedir. Diğer malzemelerle kolaylıkla birleştirilebilmektedir [32].

Son yıllarda mühendis ve teknik elemanlar; beton, çelik, ahşap, taş, plastik, cam gibi malzemelerin çeşitli şekil ve oranlarda bir araya getirilmesi ile daha çok kullanışlı malzemeler elde etmek konusunda yoğun bir çaba göstermektedirler. Bunun yanında, yüksek mukavemetli cam, karbon, bor, aramit elyaf gibi yeni malzemeler geliştirilmektedir. Geliştirilen bu malzemeler ilk olarak risk seviyesi yüksek uygulamalarda kullanılmakla beraber daha sonraları yapısal uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ahşap yapı tasarımında, masif ağaç malzemenin büyük boyutlu elemanlarda tek parça olarak kullanılması, gerek ekonomik ve gerekse teknik açıdan elverişli değildir. Ayrıca taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzeme kullanılması imkânları sınırlıdır. Çünkü

ağaç malzeme de bulunan budak, çatlak, spiral liflilik vb. kusurların tamamen giderilmesi mümkün görülmemektedir. Bu durum ahşap yapının güvenliğini oldukça etkilemektedir. Öte yandan taşıyıcı elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça olarak kullanılması fire oranını artırdığından ekonomikte değildir. Bu nedenle ahşap yapı tasarımında, istenen ebatlarda yapı elemanı elde etmek ancak ahşap birleştirme yapmakla mümkündür. Ancak yapılan ahşap birleştirmelerde de lif süreksizliği olduğundan yapının yük altındaki performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Ahşap bir yapıyı oluşturan iskelet sistemde taşıyıcı elemanlar genellikle basınç, çekme ve eğilmeye maruz kalmaktadır [32].

Glulam gibi ahşap mühendislik ürünleri ortaya çıkmadan önce, çatı ve köprü yapımında sık sık gerekli olan geniş açıklıkların üstesinden gelmek için ahşap makaslar yaygın olarak kullanılırdı. Yapı kerestesinden üretilen ahşap makaslar, küçük konutlarda çatı yapıları için hala en yaygın çözümlerdir. Makasın bu türü, düşük maliyetle sert ve güçlü makas bağlantıları oluşturmak için bugün neredeyse sadece perçinli metal plakalı bağlantı elemanları ile tasarlanmıştır. Ahşap çatı makasları, sık sık 12 m' ye kadar olan açıklıklar için kullanılır, ama 30-40 m' ye kadar açıklıklar için tasarlanabilir [33].

Yapısal yapıştırılmış lamine kereste (glulam), yapıştırılmış ahşap mühendislik ürünlerin en eskilerinden biridir. Glulam, laminasyon olarak adlandırılan iki ya da daha fazla katlı kerestenin lif yönleri uzunluğuna paralel olarak birbirine yapıştırılması ile elde edilen tasarlanmış, gerilimi sınıflandırılmış üründür. Glulam, uygunca seçilmiş ve düz veya eğimli formlarda hazırlanmış ahşap parçalarından yapılan, tüm parçaların lif yönleri elemanların boyuna yönlerine paralel olan malzeme olarak tarif edilir. İzin verilen maksimum laminasyon kalınlığı 50 mm'dir ve laminasyon genel olarak 25 veya 50 mm kalınlıktaki keresteden yapılmaktadır. Kuzey Amerika standartları, glulaminin onaylanmış üretim tesisinde üretilmesini gerektirmektedir çünkü kereste uç uca, yan yana ve yüz yüze birleştirilir, glulaminin boyutu sadece üretim tesisinin ve taşıma sisteminin kapasitesi ile sınırlıdır [34].

Düz ve eğimli glulam elemanlara dayalı yapısal sistemlerin bir çeşidi, 100 m' ye kadar açıklığı olan çatılar için geliştirilmiştir. Bugün Kaplama Tabakalı Kereste (LVL) ve Paralel Yerleştirilmiş Kereste (PSL) gibi birçok diğer ahşap esaslı ürünler, büyük ölçekli ahşap yapılar için uygundur. Bu ürünler, düz glulam elemanlar gibi benzer bir şekilde daha büyük açıklıklar için uygundur [33].

Borri, A., Corradi, M., Grazini, A., eğilme yükü altında bulunan ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesi amacıyla lif takviyeli polimer (FRP) malzemelerin kullanılmasını analitik olarak araştırmışlardır. Yapılan bu çalışma müdahale düzenleri ve malzemelerin değişen yapılandırmalar altında, önceden mevcut eski ahşap kirişlerin FRP güçlendirilmesi tasarımı için uygun olan ahşap özelliklerine dayalı doğrusal olmayan sayısal bir işleme yol açmıştır. Dört-nokta eğilme test düzenlemesine dayanan deneysel program, FRP-ahşap kirişlerin sertliğini, sünekliğini ve kuvvete tepkisini tanımlamayı amaçlamaktadır. Güçlendirilmiş ahşapta mekanik testler, esnek sertlik ve kapasitede artışların üretilebildiği FRP malzemelerinin eğilmesini göstermektedir. Tek yönlü güçlendirilmiş yapıları olan yüksek gerilim karbonundan yapılan FRP kompozit malzeme, bir epoxy reçine matrisine gömülmüştür. Bu güçlendirme yöntemi, önceden mevcut ahşap yapının sarkan parçasının çıkarılmasını gerektirmeden kullanılabilir. Ek olarak, bir kirişin doğrusal olmayan modeli, en yüksek yükü tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Yapılan çalışma sonunda deneysel programın sonuçları, sayısal işlem ile karşılaştırma için kullanılmıştır [35].

Issa, C. A., Kmeid, Z., yaptıkları deneysel çalışma ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş lamine kirişlerin esneklik özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Güçlendirilmiş glulam kirişler daha ucuza mal olmaktadır çünkü güçlendirme kullanımı, aşırı gerilim yüzeyinde (daha az yüksek sınıf malzeme kullanılabilir) üst sınıf tabaka gereksinimini azaltacaktır; buna ek olarak odun hacmi azalmıştır. Ayrıca, güçlendirilmiş glulam kirişler, düşük ürün değişkenliğine sahiptir, doğal büyüme özelliklerinden etkilenmezler ve güçlendirmenin üretimi tutarlıdır ve kontrol edilebilir. Issa ve Kmeid, güçlendirmenin iki tipini incelemiştir: çelik plaka ve karbon liflerle güçlendirilmiş polimer (CFRP). Tüm kirişlerin ahşap kısımları

6x3,6x176 cm' lik üç ahşap kirişin laminasyonu yapılmıştır. Güçlendirilmemiş kirişler, net ölçüsü 6x11x176 cm 'e eşit ahşaptan yapılmıştır. Çelik takviyeli kirişler, kalınlığı 1,5 mm'e eşit çelik plaka kullanılarak bir kenarı tamamen kaplanmış glulam ahşap kirişlerdir. CFRP takviyeli kirişler, 1,2 mm kalınlığında, 5 cm genişlikte ve 176 cm uzunlukta CFRP ile kaplanmış glulam ahşap kirişlerdir. Sonuçlar, güçlendirilmiş kirişlerin davranışlarının, güçlendirilmemiş olanlardan tamamen farklı olduğunu göstermektedir. Güçlendirme, kırılmalardan sünekliğe bozulma şeklini değiştirdi ve kirişlerin yük taşıma kapasitelerini arttırmıştır [36].

Lamine kereste elemanlarına yapıştırılan fiber takviyeli polimer kompozitlerin uygulaması, hem güçlendirme hem de yeni inşa için iyi bir potansiyel sağlamıştır. Özellikle, glulam kereste elemanları için bağlantı olarak çelik yerine FRP çubuklarının kullanım olanağı sayesinde sistemin geliştirilen sağlamlığı ile daha kolay ve daha hızlı uygulamalar, FRP malzemelerin hafif özellikleri ile garanti edilmektedir. FRP çubuklarının epoksi ile glulam elemanlarına yapışma performansı çekme testleri ile incelenmiştir. Test değişkenleri; yapışma uzunluğu, çubukların yüzey şekli ve birleştirmenin boyuna yönüne göre ağaç liflerinin yönüdür. Deneysel eğrilere dayanarak, birleştirmenin yerel ortak bağ-kayma davranışı modellenmiş ve birleştirmenin sayısal olarak çubukların gömme uzunluğunun bir fonksiyonu gibi nihai yükünü elde etmek için kullanılmıştır. Ayrıca, deneysel olarak gözlemlenen, barın liflere paralel ve dik durumları için barın eksenine dik düzlemde, ayrılan tutkal bozulmasının liflere paralel barlar için daha kritik olduğunu gösteren birleştirme davranışı modellenmiştir [37].

Ogawa, H. yaptığı araştırmada yeni fenolik reçine ile CF kompozit tabaka (CF/P) ve üretim sistemi olan orta malzemenin gelişmesi sayesinde yüksek performanslı ve yanma dayanım özellikli yeni bir karbon lifle güçlendirilmiş, lamine kereste (CFR-glulam) incelenmiştir. Yeni geliştirilen CF/P tabakası ara malzeme, reçine emdirilmiş ve düzgün kürlenmiş kağıt hamuru ile arasına sıkıştırılmış CF takviyeli kompozit levhasından oluşmuştur. Yaklaşık %0,08-1,3 hacimli CF içerikli *Cryptomeria japonica* (sugi) ve karaçamın (karamatsu) 2-6 m uzunluğunda yeni CFR-glulamı, ev inşası için belirlenen Japon Tarım Standardı (JAS) yöntemleri

kullanılarak değerlendirilmiştir. Yeni CFR-glulam, iki kat esneklik modülü ve dayanım, başlangıç glulam malzemedeki (CF güçlendirmesi yapılmamış) mekanik özelliklerde daha küçük değişim katsayısı ve ortalamanın üzerinde tutkal bozunma özellikleri göstermiştir. Bu CFR-glulam, ahşap mimari uygulamalarda yapı malzemesi olarak önerilmiştir ve yeni geliştirilen CF/P kompozit tabakası, plaka güçlendirilmiş malzeme olarak ve ayrıca ev ile köprü bileşenlerinin onarımı için kullanılabilir [38].

Eğer yapışma yüzeylerinde tek tutkal tipi kullanılabilseydi, lif takviyeli polimerle (FRP) desteklenmiş glulam daha ekonomik uygulanabilir bir ürün olacaktır. Yapılan araştırma, ticari olarak uygulanabilir FRP malzemeleri ahşaba yapıştırıldığında beş ticari ahşap laminasyon tutkalının hidrotermal uyumluluğunu sınavan test programını açıklamıştır. Yapışma bütünlüğünün sadece tutkal türüne bağlı olmadığı, ayrıca incelenmekte olan FRP tipine de bağlı olduğu görülmüştür. FRP tiplerinden biri olan nem döngüsü FRP-ahşap yapıştırılmış örnekler için nem döngüsü olmayan FRP-ahşap örnekleri, nem döngüsü olmayan ahşap-ahşap yapıştırılmış örnekler ve aynı keresteden alınan masif kontrol örnekleri ile de karşılaştırılan yüksek odun hata yüzdeleri ve iyi kesme dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Bu cesaret verici sonuçlar, FRP güçlendirilmiş glulamda uygun yapıştırıcı olarak kabul edilen pahalı yapısal epoksi tutkallarına alternatif önermiştir [39].

Corradi, M., ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada farklı malzemeler ve tekniklerle güçlendirilmiş ahşap kirişli döşemenin kesme özelliklerinin deneysel ve sayısal analizi yapılmıştır. Ahşap döşemeler kompozit malzemeler, takviye edilmiş düz beton levha ve ahşap kalas kullanılarak güçlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, güçlendirilmemişlere nazaran güçlendirilmiş zeminlerin kesme dayanımında ve sertliğinde önemli bir artış göstermiştir [40].

Yüksek performanslı lifler inşaat mühendisliği yapılarında onarım ve yenileme için yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Ahşap kirişlerin güçlendirilmesi için yüksek performanslı liflerin kullanımına ilişkin potansiyel yararlar, yükümlülük ve mimari değerlendirmeler ele alınmıştır. Dört ve üç nokta eğilme test düzenine dayalı

deneysel program, çekmeli sıkılmış GFRP (cam lif takviyeli polimerler) elemanlar ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin sertliğini ve tepki gücünü nitelemek için önerilmektedir. Lif takviyeli polimerlerin kullanımı esnasında gelişen ahşabın mekaniksel özellikleri, çoğu kez tutkal genellikle epoksi reçineleri kullanımı ile ilgilidir. Bu nedenle reçine kullanımı ve yapışma etkinliği konusunda yapılan mekanik, kalorimetrik ve termo-gravimetrik analizler çalışılmıştır. Tam ölçekli ahşap kirişlerde gerçekleştirilen mekanik testler, GFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin, esneklik sertliği ve kapasitesinde güçlü artışlar üretebildiğini göstermiştir. Ek olarak, basit doğrusal analizlere dayanan analitik araştırma, azami yükü tahmin etmek için yürütülmüştür. Bu makalenin sonunda deneysel programın sonuçları sunulmuş ve analitik prosedürle karşılaştırmak için kullanılmıştır [41].

Moayyed, M. Y., Taheri, F. 'nin yaptığı çalışma, kısa vadede deneysel ve sayısal araştırması ile tek yönlü aramid lif takviyeli polimer (AFRP) levhasıyla güçlendirilmiş güney sarıçamı ve Douglas göknarı kereste kirişlerinin sünme performansını tanımlamıştır. AFRP ve sade ahşabın sünme parametreleri, dahili sünme testleri kullanılarak belirlenmiştir. Bundan dolayı, doğrusal olmayan sonlu eleman modeli, her parçanın sünme özelliklerine dayanarak AFRP takviyeli kereste kirişlerin sünme tepkisini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Sonlu eleman analizi sonuçları, AFRP takviyeli örneklerde yürütülen deneysel sonuçlar ile uyduğunu göstermiştir. Üstelik, güçlendirilmiş kirişlerin esneklik dayanımında güçlendirmenin etkisi de açıklanmıştır. Hem dayanımın hem de sertliğin gelişmesini sağlayan ve ahşap kirişlerin sünme bozulmasını etkin olarak azaltabilen AFRP takviyeli kereste kirişlerin artması sonucu çıkarılmıştır [42].

Kim, Y. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; burulma bozulması ve eğilme altında lamine ahşap kirişlerde ince lif takviyeli plastik (FRP) katının gelişimi tahmini için analitik çözüm sunulmuştur. Malzemelerin dayanımı görüşüne dayanan, dört noktali eğilme altında ayrılan kirişler için uzaklık fonksiyonları elde edilmiştir. Kuvvet ve uzaklık uygunluk şartları kullanarak, uygulanan enine yük ile burulma bozulması yükü ile ilişkilendirilen kesin bir form tespit edilmiştir. Zorlama enerjisi açığa çıkma oranının kesin formu, eğilme altındaki kirişlerde bozulma gelişimini

çalışmak için sunulmuştur. Analitik çözüm, basınç yüzeyinde ince lif takviyeli plastik kompozit ile güçlendirilmiş lamine kereste (glulam) kirişler için deneysel veri kullanılarak değerlendirilmiştir. Eğilmede bozulma büyümesi, düzlem yükleme durumunun farklı davranmasını göstermiştir [43].

Raftery, G. M. ve arkadaşları tarafından ele alınan araştırma programı, ahşaba ticari olarak uygun FRP' lerin yapıştırılmasında kullanılan üç ticari epoksi tutkalını incelemiştir. Program, tümü aynı keresteden ahşap kullanılarak üretilen nem döngüsü olmayan FRP-ahşap örnekleri, nem döngüsü olmayan ahşap-ahşap bağlı ve masif kontrol numuneleri ile nem döngüsü FRP-ağaç örneklerinin karşılaştırmalı deneyini gerektirmiştir. Bulgular, özel yapıştırıcılar ile maliyet etkin ince tutkal hatlarının FRP-ahşap arayüzünde uygulanan birçok hidrotermal gerilimlere direnme kapasitesi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yapıştırıcı bütünlüğünün sadece söz konusu olan epoksi tutkalına bağlı olmadığını FRP tipine de bağlı olduğu kaydedilmiştir [44].

Son çalışmalar, lif takviyeli polimer (FRP) kompozitler ile güçlendirilmiş ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin inşaat uygulamaları özellikle yapısal elemanlar için gelecek vadeden malzemeler olduğunu ispatlamıştır ancak, karbon FRP ahşap hibrid malzemelerin uzun dönem performansı, çevresel şartlara ve ahşap koruyuculara maruz kaldığında karbon lif takviyenin mukavemeti, yanı sıra karbon FRP-ahşap arayüzü bozulmaya duyarlılığı hakkında endişeler bulunmaktadır. Pirvu, A. ve arkadaşlarının çalışmasının amacı: (a) Malzeme ve arayüz performans özelliklerine dayalı ahşap elemanların güçlendirilmesi için karbon/vinil ester kompoziti karakterize etmek; (b) Ahşap güçlendirme için VARTM/SCRIMP işlemin uygunluğunu değerlendirmek; (c) petrol kaynaklı ahşap emprenye uygulamalarına maruz kaldıktan sonra madde emilimini ölçmektir. Vinil ester reçine, ahşap hidroksimetil rezorsinol bağlayıcı madde ile işlem gördüğünde, doğru bir şekilde ölçülendirilmiş karbon lifli dayanıklı kompozit ve dayanıklı ahşap yapıştırıcı bağ üretmiştir. Karbon/vinil ester-ahşap arayüz özellikleri, E-cam/vinil ester-ahşap arayüz özelliklerinden daha üstündür. Uygulanan VARTM/SCRIMP teknolojisi, yüksek lif/reçine oranlı güçlendirmeyle, minimum boşluk içeriği ve dayanıklı

yapıştırıcı bağ-ahşap alt tabaka ile sonuçlanan üretilen karbon FRP-ahşap hibrid yapısal elemanlar için potansiyeli olan üretim işlemi olduğunu ispatlanmıştır [45].

Taheri, F. ve arkadaşlarının yazdığı makale, fiber takviyeli polimer (FRP) levhalar ile güçlendirilmiş lamine (glulam) ahşap kolonların fizibilitesini araştırmak için yapılan bir çalışmanın sonuçlarını göstermektedir. Deneysel ve bilgisayarlı araştırmalar FRP ile güçlendirilmiş eksenel yüklü glulam ahşap kolonlarda yapılmıştır. İncelik oranı, sınır durumları, FRP güçlendirme uzunluğu ve ilgili değerler gibi benzer parametreler bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmanın başlıca amacı mühendislik ve mimarlık alanlarında deneyim kazanmak için bilgi ve veri üretmektir. Ana amacı da uygun maliyetli glulam kereste bileşenlerinin yapısal uygulamalarda geçerli bir seçenek olarak kullanımını artırmayı doğrulamaktır [10].

Premrov, M. ve arkadaşlarının yazdığı makale, prefabrik kereste yapıların inşasında genellikle ana taşıma gücü elemanları gibi kullanılan diagonal olarak güçlendirilmiş ahşap çerçevesel panel duvarlar için benzer analitik çözümler sağlamıştır. Bu duvarlar, ahşap çerçeve kompozit elemanlardan ve kaplama malzemesi lif-bant levhalardan yapılarak matematiksel olarak uygulanabilir. Levhalar sistemin en zayıf parçası olduğu için, çelik köşegenlerle güçlendirilmiştir. Önerilen yaklaşık analitik modeller ile lif bant levhaların hayali kalınlık ve genişlikleri, eş zamanlı olarak yerleştirilmiş çelik köşegenlerin etkisini, ahşap çerçeve ile levhalar arasındaki mekanik bağlantıların esnekliğini ve lif-bant levhaların gerilim bölgesinde görülmeyen çatlakları göz önünde bulundurmaya olanak vermektedir. Elde edilen sayısal sonuçlar, ölçülen deneysel sonuçlarla uyumunu göstermektedir [46].

Takviye eklenmesi ile glulam kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin artırılması, yaygın bir uygulamadır. Son zamanlarda, çekmeli sıkılmış cam lifi takviyeli plastik (GRP) kirişlerin iki malzeme ve düşük ön gerilim kayıplarının uyumluluğundan dolayı uygun alternatif sağladığı ispat edilmiştir. Guan, Z. W., ve arkadaşlarının makalesi, karşı test sonuçları onaylanan ve sonra ön-gerilmiş GRP kirişler ile bitişik kereste arasındaki yapışma gerilimini araştırmak için kullanılan sonlu elemanlara

dayalı modeli açıklamaktadır. Parametrik çalışmalar, kiriş kalınlığının etkilerini, kiriş açıklığı ve kirişlerin yapısal davranışında ön-gerilim kuvvetini değerlendirmek için üstlenilmiştir [47].

ABD’de mühendislik ahşap yapısı için yeni geliştirilen yük ve mukavemet faktör tasarımı (LRFD) özelliği, seçilen tasarım kuvvet gereksinimleri için teknik kaynak olarak olasılıklı yöntemleri, yük bileşimlerini ve yük faktörlerini kullanmıştır. Yapısal malzemeler olarak ahşap ve ahşap ürünlerin özellikleri dikkate alınmıştır. Ahşap yapısal ürünlerin dayanımı, yüklerin uygulama oranı ve süresine bağlıdır. Son limit durumları için LRFD kriteri, zaman etki faktörü vasıtasıyla bu bağımlılığı açıklamıştır. Birçok önemsiz aynı ve tekrar kullanılan parçalardan oluşan ahşap yapısal sistemlerin dayanımındaki gözle görünen artış, sistem faktörü ile hesaplanmıştır. Sehim ve titreşimin işe yararlılık limit durumları, bazı genel kod kılavuzları ve zorunlu olmayan açıklamalar ile adreslenmiştir [48].

Xu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ahşap kaplama kompozitlerde takviye malzemesi olan kısa karbon lifler, lif uzunluğu ve lif yönlendirmesinin kontrplak esnekliğindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Kısa karbon lif takviyeli kontrplağın teknik fizibilitesi, esnekliği ve dayanımı değerlendirilmiştir. Kısa lif takviyeli sistemde, lif uzunluğu belirli uzunluğu aştığında Cox teorisinde güçlendirmeyi doğrudan etkilememektedir. Deneyde kısa karbon lifin uzunluğu 3 mm’ yi geçtiğinde, yüksek takviyeli sonuç elde edilmiştir ancak, lif uzunluğu çok uzunsa, takviyeli sonuç lifler ile deliklerin artışı arasındaki köprüden dolayı daha azdır. En uygun lif uzunluğu dikkate alınmalıdır. Liflerin yönlendirilmesi, güçlendirmede güçlü bir etkiye sahiptir. Tek yönlü, dik ve rastgele yönlendirme, esneklikte farklı etki göstermiştir. Deneysel sonuçlar, Cox metodu ile tartışılmıştır. Rastgele dağılımda kısa karbon lifler ile takviyeli kontrplak, diğer mekanik özelliklere ek olarak kontrol numunelerinden yüksek kesme modülü ve eğilme dayanımına sahiptir [49].

Kuo ve arkadaşları kalıplı enjeksiyonla üretilen ahşap-plastik kompozitlerin (WPC) mekanik özelliklerinde malzeme bileşimlerinin etkisini incelenmiştir. 47/47/3/3’ lük

odununu/plastik matriks/MAPP (maleik anhidrid polipropilen)/çinko stearik asit tuzu oranı kullanılarak LDPE (düşük yoğunluk polietilen) ve PP (polipropilen) ile üretilen ahşap-plastik kompozitlerin gerilim dayanımının ve kopma modülünün (MOR) LDPE ve PP' nin kendilerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, polimer matriks ABS (akrilonitril-butadin-sitrin) iken karşılaştırılan bulgular elde edilmiştir. RPP' in (yeniden kazanılmış polipropilen) mekanik özellikleri kıyaslandığında, RPP ile üretilen ahşap-plastik kompozitler için kopma modülü artmış ve gerilim modülü azalmıştır. %47 odun onu (<180 lm) ve %3-4,5 MAPP (maleik anhidrid polipropilen) ile karıştırılan PP' (polipropilen) den yapılan ahşap-plastik kompozitlerin gerilim dayanımı, kopma modülü ve saklama modülü, bu çalışmada üretilen diğer ahşap-plastik kompozitlerinkinden daha yüksektir. Ayrıca, polimer sönümlendirme en üst sınırı, zıt sonuç göstermiştir [50].

Ahşap-beton kompozit kirişler, aslında basınçta beton tabakası ve gerilmeye ahşap tabakası kullanan tabakalı sistemdir. Bu tabakalı sistem, zeminlerin sertliği ve yük taşıma kapasitesi arttığında tarihi kereste yapılarda ahşap zemin inşa etmek ve onarmak için bir yol sağlamıştır. LeBorgne ve Gutkowski'nin araştırma makalesi, betonun zayıf bileşimi, betonda enine daralma çatlakları, ahşabın şişmesi, betondan rutubet kaybı ve azaltılmış kompozit verimliliğiyle sonuçlanan eski problemleri incelemiştir. Araştırma, nasıl bu problemlerin azaltılabileceğini ve öylece ahşap-beton kompozit sistemin kompozit verimliliğinin artırılabilceğini anlatmıştır. Örneklerin, ahşap ile beton arasındaki sıkı arayüzü korumak için yardım eden su geçirmez boyayla boyanması vasıtasıyla ahşabın şişmesi azaltılabilir. Bileşimini arttırmak için 28 günlük 34,5 MPa' lık basınç dayanımı ve 279,4 mm' lik çökme ile kendiliğinden düzleşen beton tasarlanmıştır. Yeni yapılmış betona ilave olarak naylon lifler ve I tipi çelik lifler, kompozit verimliliğindeki ve çatlakların daralmasının azalmasındaki etkilerini belirlemek için kullanılmıştır. 12 adet 1/1 ölçekli örnekler, yapıldı ve hatası test edilmiştir. Ahşapta açıklık ortası eğilme ve çekme ile birleştirilmiş hatanın en yaygın modu bulunmuştur. Dört nokta eğilmeye yerleştirildiğinde 1/1 ölçekli test örneklerinde %83,4' lük ortalama kompozit verimliliği elde edilmiştir [51].

Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın esas amacı, karbon lif takviyeli plastik (CFRP) kompozit tabakalarının kullanımı ile iyileştirilen ahşap kirişlerin esneklik performansını araştırmaktır. Önce, CFRP kompozit tabakaları ile iyileştirilen ahşap kirişlerin teorik analizi elde edilmiştir. Dört nokta eğilme testi ahşap kirişin yük-uzaklık ilişkisini belirlemek için kullanılmıştır. CFRP tabakalarının performansı, incelenen iki farklı türdeki ahşap kirişlerin gerilim kenarına bağlıdır. Deneysel yük-uzaklık ilişkilerinin gözlemleri, CFRP tabakasıyla kıyaslandığında CFRP kompozit tabakaları ile iyileştirilen ahşap kirişler için esneklik dayanımının arttığını ve ortadaki dikey uzaklığın azaldığını göstermiştir. 1, 2 ve 3 katmanlı CFRP kompozit tabakaları ile iyileştirilen *Cunninghamia lanceolata* için esneklik dayanımının yüzdesel artışı sırasıyla %39, %44 ve %61 idi. 1, 2 ve 3 katmanlı CFRP kompozit tabakaları ile iyileştirilen *Tsuga chinensis* için esneklik dayanımının yüzdesel artışı sırasıyla %44, %55 ve %58 idi. Teorik ve deneysel azami yüklerin karşılaştırmaları, *Cunninghamia lanceolata* ve *Tsuga chinensis* için azami yükün mutlak hataları sırasıyla %5,05 ve %8,65 olduğunu göstermiştir [52].

Özel prefabrik lif takviyeli polimer (FRP) kompozit şilte veya örtü, inşaat sahasında ahşap kazıkların onarmak için geliştirilmiştir. Ahşap kazıklar ile FRP kompozit şilte arasındaki yük-transfer mekanizmasının iki tipi geliştirilmiş ve test edilmiştir: (1) çimento esaslı yapısal derz ve (2) genişleyen bir poliüretan kimyasal derzli çelik kesme bağlantıları. Anido ve arkadaşlarının yazdığı makalenin amacı, FRP kompozit şilte sistem ile onarılan önceden hasar görmüş gerçek boyutlu ahşap kazıkların yapısal tepkisini tanımlamaktır. Üç nokta eğme test prosedürü, yanal yüklere maruz kalan kazığın tepkisini simüle etmek için kullanılmıştır. Yük deformasyon tepkisi, bükülmüş şekil profili, nispi uzunlamasına yer değiştirmeler (kayma), gerilme dağılımı, nihai eğilme momenti kapasitesi ve başarısızlık modu olarak değerlendirilmiştir. Ahşap kazıklar, arakesiti yaklaşık %60 azaltılarak önceden hasar verilmiştir. Çimento esaslı derzli FRP kompozit şiltesi kullanılarak onarılan önceden hasar görmüş ahşap kazığın, referans bir ahşap kazığın eğilme kapasitesini aştığı tespit edilmiştir. Çelik kesme bağlantılı ve poliüretan derzli FRP kompozit şilte kullanılan onarım sisteminin, tamamıyla referans ahşap kazığın eğilme kapasitesini

iyileştirmediği; ayrıca ahşap tahribatı kritik olmadığında deniz oyucusu koruması için kullanılabileceği tespit edilmiştir [53].

Gana’ da hazır yenilenebilir bir kaynak olan kerestenin, bir yapı malzemesi olarak yapısal, yapısal olmayan ve dekoratif avantajları vardır ancak son zamanlarda, eski moda olarak kabul edilir ve diğer "modern" malzemelerle değiştirilmesi ile karşı karşıyadır. Ev yapımı için kerestenin kullanımını ve potansiyelini engelleyen önemli engelleri açıklamaya yönelik olarak halka, kereste işleme firması ve ahşap yapılarda ikamet edenlere anketler yapıldı ve açıklayıcı bir istatistiksel yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. Ahşap tasarım ve ev yapımı için önemli engeller, mimarlar ile yarı-yapılandırılmış görüşmeler yoluyla tespit edilmiştir. Gana’da ahşap ev yapımı, psikolojik ve teknik engeller nedeniyle azalmıştır. Psikolojik olarak, böcek tarafından olası zarar ve yangın tahribi korkusu vardır. Mevcut teknik engeller; ahşap rezervlerinin tükenmesini, tasarım ve detaylandırma eksikliğini, etkisiz ahşap bakımını ve kalifiye eleman eksikliğini içermektedir [54].

Katmanlı kompozit masif ahşap-beton zemin sisteminin etkinliği ile ilgili keşfedici araştırma açıklanmıştır. Biçilmiş kereste üzerinde beton katmandan oluşan dikdörtgen kirişler, yükleme testine tabi tutulmuştur. Katmanlar arası kuvvet transferi, çentikli bir kesme anahtarındaki rulman ile gerçekleştirilmiştir. Dikey bir çapa, beton küründen sonraki çentiklerin darlığını düzeltmek için kullanılmıştır. Test sonuçları, elde edilen kısmi kompozit eylemin derecesine dayanan fikrin yapısal değerini göstermiştir [55].

Sünme kopmasından kaynaklanan yükleme süresi davranışı, ahşap malzemeyi diğer yapısal malzemelerden ayırt eden çok önemli etkilerden biridir. Sünme kopmasının fenomeni, son yirmi yılda yaygın biçimde çalışılmıştır. Son deneysel programlar, gerçek boyutlu kerestede yüklem süresi (DOL) etkileri üzerine odaklanmış ve farklı kümülatif hasar modellerinin sayısını önermiştir. Bu modeller, tasarımda kullanmak amacıyla uygun yükleme süresi ayarlama faktörlerini değerlendirmek için yükleme işleminin tesadüfi niteliklerini hesaba katan güvenilirlik analizlerinde kullanılmıştır. Çok yakın zamanlarda, tesadüfi hasar birikim sürecinin kendisi

incelenmiştir. Bu basitleştirilmiş kümülatif hasar analizleri için öneri ve ahşap yük süresi etkileri için 'öldürücü darbe' kavramını yeniden ortaya çıkmasına neden olmuştur. Diğer son çalışmalar ahşap mekanik bağlantılardaki benzer yük zaman etkilerini değerlendirmeye odaklanmıştır. Bağlantılardaki mekanizmalar, ahşap elemanlardan farklı olarak kabul edilirken, tasarımdaki zaman etkilerinin uygulaması (en azından şu anda) benzerdir. Rüzgar ve deprem yükleri gibi doğal afet yüklerine maruz kalan ahşap yapıların mühendislik tasarım eğilimi ile yük süresi etkilerinin hem ilkel karkas elemanlarında hem de yapısal bağlantılarda ayrı bir önemi olabilir. Ahşap için yeni LRFD standardının evrimi, bu önemli konuyu tekrar incelemek için iyi bir fırsat sağlar. Kısaca LRFD standardında zaman etkileri faktörleri için temel olarak kullanılan çalışmada özel vurgu ile DOL araştırması incelenecek ve (a) diğer istatistikleri kullanarak kümülatif hasar analizine basit bir yaklaşım (b) basit ahşap bağlantılarda yük-zaman etkileri konularındaki son bazı çalışmalar açıklanacaktır. DOL davranışını içeren güvenilirlik analizlerinin, sıra istatistiği yaklaşımı veya basit bir FORM analizi bile kullanılarak daha kolay gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Böylece, karmaşık tesadüfi kümülatif hasar analizini gerçekleştirmek zorunda kalmadan tasarım için yük süresi faktörlerini değerlendirmek mümkün olabilir [56].

Corinaldesi ve Moriconi'nin çalışmasında lokal olarak kompozit malzemelerle takviye edilen birçok ağaç türü test edilmiştir. Özellikle, iki farklı tipte bağlantının sürekliliğini iyileştirmedeki etkinliği, ya ladin ya da meşeden yapılmış olarak ikiye ayrılan türler bazında değerlendirilmiştir. Bir bağlantı, epoksi reçinesine gömülen ve ahşaba birbirinden ayrı olarak yerleştirilen CFRP' nin dört tabakası vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bağlantının diğer türü, 150 mm ahşap içine birbirinden ayrı olarak yerleştirilen 10 mm çaplı CFRP dört çubuk vasıtasıyla elde edilmiştir. CFRP malzemeleri ve ahşap, epoksi reçine yanı sıra birleştirilecek iki parça odun temas yüzeyi sayesinde ile yapıştırılmıştır. Bu bağlantılar, eğilme ve kesme kapasitelerini değerlendirmek için mekanik testlere sokulmuştur. Özellikle CFRP tabakası bağlantılarının esneklik davranışı ve CFRP çubuk bağlantılarının kesme davranışı bakımından cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir [57].

Çelik şerit takviyeli yüksek yoğunluklu odun yongası-beton levha eğilme elemanı davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için 3 yıllık uzun vadeli yükleme testi orta boy kirişler ve tam ölçekli oluklu çatı panellerinde gerçekleştirilmiştir. Elemanların uzun vadeli davranışları sunulmuş ve açıklanmıştır. Test sonuçları, çelik şeritin uzun vadeli sertlikte önemli etkisinin olduğunu göstermiştir. Eğilme elemanlarının uzun vadeli yük taşıma kapasitesinin, kısa vadeli yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 0,5 katı ve uzun vadeli sehimin, kısa vadeli sehimin yaklaşık 1,6-2,5 katı olduğunu göstermiştir [58].

Tungjitpornkull ve Sombatsompop yaptığı çalışmada, farklı lif yapıları, yüklemeler ve yönelme açıları ile E-cam lifler (GF), ahşap/poli(vinil klorit) (WPVC) kompozitlerin içine yerleştirilmiştir. GF takviyeli WPVC kompozitler ya basınçla kalıplama veya ikiz-vidalı ekstrüzyon işlemi ile imal edilmiş ve bu iki süreç kompozitlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar GF takviyeli WPVC kompozitlerin üretimi için basınçlı işlemin ikiz vidalı ekstrüzyon işleminden daha verimli olduğunu önermektedir. Basınçlı teknik ile üretilen GF/WPVC kompozitin özgül ağırlığı daha büyüktür. Cam lifin yönelme açısının, GF/WPVC kompozitlerin darbe özellikleri üzerinde daha belirgin etkisi olduğu bulunmuştur. GF/WPVC kompozitlerin maksimum mekanik özellikleri, 0° lik lif yönelme açısı ile kompozit ürünler üretmek için basınçlı kalıplama tekniği kullanılması ile elde edilebilir [59].

Dobriła ve Premrov' un yazdığı makale, özellikle prefabrik ahşap yapıların inşaatında yük taşıma kapasitesi elemanları olarak kullanılan ahşap karkas duvar panellerinin nasıl güçlendirileceği konusunda farklı olanaklar sunmaktadır. Bu duvarlar, ahşap bir karkas ve fiber alçı levhalardan oluşan kompozit elemanlar olarak düşünülebilir. Sistemin en zayıf parçası olarak levhalar, özellikle sismik veya rüzgarlı alanlarda bulunan çok katlı binalarda elemanların dayanım ve sünekliğini sağlamak amacıyla bir şekilde güçlendirilmesi gerekmektedir. Araştırmanın amacı, iki farklı yöntem kullanılarak güçlendirilmiş elemanlar arasındaki dayanım ve süneklikteki farklılıkları belirlemektir. İlki, ek lif levha kullanarak direnci ve

özellikle ileri sürülen doğrultuda yumuşaklığı geliştirmeden, ahşap karkasa sabitleştirilen köşegen çelik şerit eklemek, çözüm bulmak için daha uygundur [60].

Gezer ve Aydemir' in çalışmasının amacı, ahşap malzemelerin dayanım değişikliklerini gözlemlemektir. Özellikle sarılı ahşap malzemelerin basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Karbon lif takviyeli polimer (CFRP) malzeme, polimer esaslı tutkal kullanılarak ahşabın yüzeyine sarılmıştır. Sarılı ve sarılı olmayan malzemelerin dayanım oranları incelenmiştir. Numuneler, binalarda yaygın olarak kullanılan göknar ve çam odunlarından hazırlanmıştır. Aynı zamanda, ahşabın iki türü, dayanım oranları bakımından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak, sarılı CFRP ahşap malzemeler için basınç ve üç nokta eğilme dayanımının artışı belirlenmiştir [61].

Guan ve arkadaşları (2004), fiberglas ile güçlendirilmiş glulamın sunduğu uygun alternatiflerden yola çıkarak, GRP ile düzenlenen glulamın ön gerilme kuvvetini arttırdığı tespit edilmiştir [47].

Taheri ve arkadaşları (2008), FRP ile güçlendirilmiş glulamın deneysel ve karşılaştırmalı olarak yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlar çerçevesinde FRP ile ilgili daha çok çalışma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır [10].

Kuhta ve Premrov (2000) prefabrike ahşap yapıların inşasında ana taşıyıcı kapasite elemanları olarak kullanılan panel duvarlarının çift fiber plastik panellerle elde edildiğinde esneklik sağlandığı ancak kırılma noktasında plastikleşme yaşandığı vurgulanmıştır [62].

Lâmine ahşap malzemedeki ağaç türü, tutkal çeşidi ve katman sayısının eğilme direncine olan etkilerinin araştırıldığı çalışma sonunda en yüksek eğilme direncinin PVAc tutkalı ile yapıştırılmış 5 katmanlı kayın odununda elde edildiği bildirilmiştir [63].

2 ve 4 mm kalınlıkta kaplamalar ile PVAc ve Poliüretan tutkalları kullanılarak lâmine Kızılağaç'ın fiziksel ve mekaniksel özellikleri tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek eğilme direnci 2mm katman kalınlığı ve PVAc tutkalı ile elde edilmiştir [64].

Lâmine edilmiş sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışma sonunda bütün fiziksel mekanik özelliklerin masif malzemeye göre daha üstün olduğu belirlenmiştir [65].

Lâmine tutkallı kirişlerin eğilme dirençlerinin normal kirişlerden çok yüksek olduğu bildirilmiştir [66].

Lâmine tutkallı kirişlerin makaslama direnci göknar odununda 8 N/mm² , çam odununda 9,7 N/mm² bulunmuştur [67].

İzosiyanat reaktifli holt-met tutkalının lâmine malzeme üretiminde kullanılma imkanı araştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan deney örnekleri 150°C'de münavebeli kaynatma kurutma kaynatma işlemlerine tabi tutulmuştur. % 8,6 oranında aktif izosiyanat reaktif kullanıldığında, ağaç malzeme direncinde % 80 azalma olacağı belirtilmiştir [68].

Cam lifleri ile güçlendirilmiş değişik formlardaki ahşap lâmine kirişlerde gerilmelerden dolayı ortaya çıkabilecek çatlaklara karşı kirisin dayanma noktası araştırılmıştır. Buna göre, güçlendirmenin çatlaklardaki gerilmeleri düşürerek, bir çeşit çatlama durdurucu görevi üstlendiği belirtilmiştir [69].

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Ağaç Malzeme

Ahşap yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) deneyin masif malzemesi olarak kullanılmıştır.

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan masif ağaç malzeme Ankara'daki kereste işletmelerinden tesadüfi metotla temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde kerestenin sağlıklı, liflerinin düzgün, budaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir.

Masif ağaç malzemelerden muhtelif boy ve en ölçülerinde kesilen 15 mm kalınlıktaki keresteler istiflendikten sonra havalandırılan ve direkt güneş ışığı almayan ortamda 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem şartlarında % 12 rutubete ulaşınca kadar bekletilmişlerdir.

4.2. Ara Katman Malzemesi

Masif ahşap malzeme arasında fiber glass tel file ve file yapıdaki alüminyum malzeme ara katman malzemesi olarak kullanılmıştır.

4.2.1. Fiber glass tel file

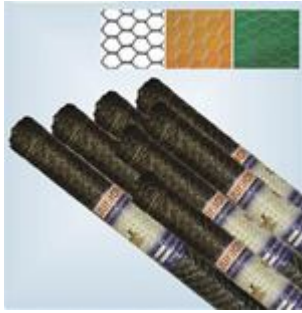
Deney örneklerinin hazırlanmasında ara katman malzemesi olarak kullanılan fiber-glass tel file 18 x 16 mm'lik göz aralığında, 0.28 mm'lik tel kalınlığında, minimum 125 gr / m²'lik ağırlıkta, % 35 fiber ve % 65 plastik içeren, siyah renkli ve gözenekli yapıdadır [70]. Genişlik olarak 1 m ölçülerinde ve 30 m uzunluğunda satın alınarak deneyin masif malzemesine uygun olarak ölçülendirilmiştir. Resim 4.1.' de rulo halindeki fiber-glass malzeme görülmektedir.



Resim 4.1. Junior fiber glass tel file [70]

4.2.2. Alüminyum tel file

Deney örneklerinin hazırlanmasında ara katman malzemesi olarak kullanılan alüminyum tel file baklava gözenekli helezon tipi, 1 mm x 15 mm x 15 mm ölçülerinde 100 cm genişlik ve 30 m uzunlukta minimum 1 kg/m² ağırlığında yaygın bir kullanım alanına sahip bir malzemedir [71]. Resim 4.2.'de görülmektedir.



Resim 4.2. Alüminyum tel file [71]

4.3. Tutkal

4.3.1. Polivinilasetat (PVAc)

Bu çalışmada, tek bileşenli polivinilasetat (PVAc- D₃) alman Kleiberit firmasının Klebit 303 isimli tutkalı kullanılmıştır. Klebit 303,. BS EN 204 standardına göre tek bileşenli olarak D₃ hizmet sınıfı için kullanıma hazır halde pazarlanmaktadır. Kullanım esnasında, tutkal çözeltisine % 5 oranında sertleştirici katılımı ile rutubete dayanıklılığı daha da artırılarak, BS EN 204'e göre D₄ yapışma kalitesine sahip hale getirilebilmektedir [1].

Tutkalm teknik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. PVAc tutkalm teknik özellikleri [72]

Tipi	PVAc dispersiyon	
Sertleştirici Oranı	D ₃ : Tek bileşenli (Bileşen A)	
Yoğunluk	Bileşen A = 1,10 g/cm ³ , Bileşen A = 1,13 g/cm ³	
Vizkozite (20 °C)	13,000 ± 2,000 mPas	
RENK (Tek ya da Çift Bileşen)	Beyaz	
Tutkal Çizgisi	D3: Esnek, şeffaf	
Uygulama Miktarı	120-200 g/m*	
Açık Zaman	6-10 dakika	
Pres Basıncı	0,1-1 N/mm ²	
Presleme Süresi (Masif Parça Yapıştırma)	20 °C'de 15 dakika 50 °C'de 5 dakika 80 °C'de 2 dakika	Çift bileşenli olarak kullanıldığında presleme süresi %50 artar.
Tam Sertleşme Süresi	7 gün	
Uygulama Alanı	Pencere ve kapı imalâtı, yüzey yapıştırma, en ve boy birleştirmelerin yapıştırılması, yüksek frekans (20,000 kHz) yapıştırma vb.	

4.2.2. Desmodur-VTKA

Desmodur-VTKA suya ve neme karşı dayanıklı, çözücü içermeyen tek kompenantlı poliüretan esaslı bir yapıştırıcıdır. Üretici firmanın verdiği bilgilere göre evlerin banyo ve mutfaklarında, deniz ve göl vasıtalarında, binaların dış cephe, metal ve tahta kısımlarının montaj ve onarımlarında, buharlı ortamlarda çalışılan atölye ve fabrikalarda güvenle kullanılmaktadır. Yoğunluğu 20°C'de 1,11 ± 0,02 gr/cm³, viskozitesi 25°C'de 3300-4000 cps olup 20°C sıcaklık ve % 65 bağıl nemle 30 dakikada sertleşmektedir. Ambalaj viskozitesinde yüzeylerden emiciliği yüksek olana sürülmesi ve kurumuş satıhların hafifçe nemlendirilmesi önerilmektedir [63].

4.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Bekletilen ve standart rutubet değerlerine ulaşan masif keresteler, yapılacak deneylere hazır ölçülere getirilmek için kalınlıkları 14 mm olarak yapılmaya uygun pürüzsüz yüzey olacak şekilde hazırlanmıştır. En ölçüleri muhtelif boyutlarda olan kereste uzunlukları ise 2000 mm ve 700 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Daha sonra gerçekleştirilen laminasyon işleminden sonra ölçüler TS 5497 EN 408 standardına uygun olarak 1900x100x100 mm ve 600x 100x100 mm ebatlarına getirilmiştir.

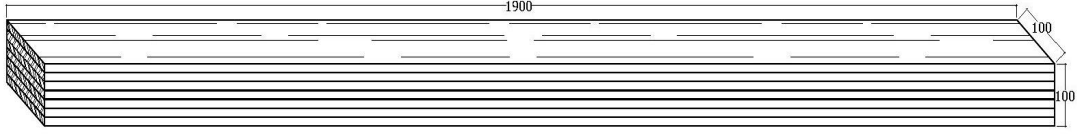
Deneylede kullanılan bütün ahşap kısımlar bu masif tabakalardan elde edilmiştir.

Ara katman malzemesi olarak kullanılan fiber-glass tel file ve file yapıdaki alüminyum malzeme hazır olarak alınıp, ahşap malzemeye uygun ölçülerde kesilmiştir.

Katmanları birbirine bağlamak için kullanılan PVAc ve Desmodur-VTKA tutkalları da hazır olarak alınmıştır ve bu tutkallar üretici firmanın direktifleri doğrultusunda kullanılmıştır.

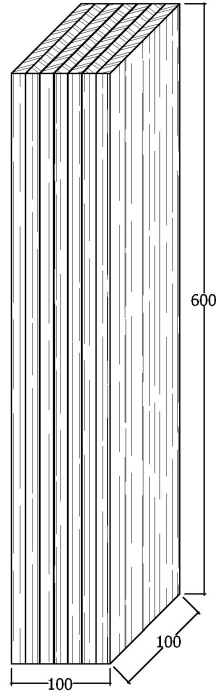
4.4.1. Lâminasyon işlemi

Lâminasyon işlemi TS EN 386 ve TS 3891'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Hava kurusu haldeki 14 mm kalınlıklı masif malzemelerden deney numunelerinin üretilmesi esnasında PVAc-D3 ve Desmodur-VTKA tutkalları ile fiber-glass tel file ve alüminyum tel file ara katman malzemeleri ve ara katmansız kontrol numuneleri toplam 7 masif kat ve ara katmanlı numuneler için ise masif katlar arasında toplam 6 kat ara destek amaçlı malzemesi olacak şekilde, lâminasyon işlemi 100x100x1900 mm (Şekil 4.1) ve 100x100x600 mm boyutlarında (Şekil 4.2) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Eğilmede kullanılan düz lâmine edilmiş ağaç malzeme (ölçüler mm)

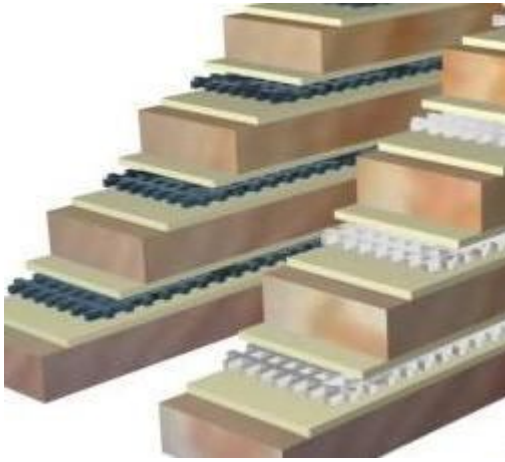
Tutkallama işleminde üretici firmaların önerileri dikkate alınmıştır. Destek katmanı malzemesi olmayan kontrol numuneleri üretilirken katların tutkallanmasında tutkal çözeltisi yapıştırma yüzeylerinden yalnız bir tanesine fırça ile ve 180-200 gr/m² hesabıyla sürülmüştür. Ara katman malzemeli numunelerin üretilmesinde ise tutkal çözeltisi, masif yapıştırma yüzeylerinin her birine yine fırça ile ve 180-200 gr/m² hesabıyla tatbik edilmiştir.



Şekil 4.2. Basınçta kullanılan düz lâmine edilmiş ağaç malzeme (ölçüler mm)

Yapıştırma işleminde; yüzeyler tutkallanıp 5-6 dakika bekletildikten sonra pres basıncı; yaklaşık 1,2 N/mm², presleme süresi; 8 saat soğuk olarak

gerçekleştirilmiştir. Deneysel numuneleri deney standardına uygun olarak 100x100x600 mm ve 100x100x1900 mm boyutlarında, ara katman malzemesiz kontrol numuneleri için karşılıklı kereste plaka yüzeylerinin yalnız bir tanesine, ara katman malzemeli numuneler için ise her iki yüzeye de 180-200 g/m² hesabı ile tutkal sürülerek farklı gruplarda malzeme elde edilecek şekilde meydana getirilmiştir. Laminasyon işlemi, sıcak ve soğuk prese uygun olan basınç göstergeli hidrolik pres makinesinde soğuk olarak 1,2 N/mm² basınç uygulayacak şekilde ayarlanarak yapılmıştır. Ara katman malzemesi kullanılarak hazırlanan tabakalı kompozit laminasyon örneğinde katmanların yerleştirilmesi Şekil 4.3.' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ara katman malzemesi kullanılarak hazırlanan tabakalı kompozit laminasyon örneğinde katmanların yerleştirilmesi

4.5. Deneysel Yöntem

4.5.1. Yoğunluk

Yoğunluk tayininde kullanılacak örnekler 100x100x100 mm ölçülerinde hazırlanmıştır (Şekil 4.4).

Yoğunlukların belirlenmesinde TS 5497 EN 408 esaslarına uyulmuş, % 65 nispi nem ve 20°C sıcaklık ortamında değişmez kütleye gelinceye kadar şartlandırılmış deney parçasının tüm enine kesitinin yoğunluğu, deney parçasından elde edilen bir kesit üzerinden tayin edilmiştir. 6 saat ara ile yapılan tartımlarda, birbirini izleyen iki tartım arasındaki kütle farkının, deney parçası kütlelerinin %0,1'inden fazla olmadığı görüldüğünde, değişmez kütle olarak kabul edilerek numuneler hazırlanmıştır. Yoğunluklar, tüm deney parçasının kütle ve hacminin ölçümünü müteakiben şartlandırmadan sonra belirlenmiştir. Farklı tutkal ve ara katman malzemeleri kullanılarak elde edilen kompozit laminasyon örnekleri, farklı tutkallardan üretilen masif laminasyon ve ayrıca masif numunelerde dahil her çeşit örnekten ikişer adet olmak üzere 7 farklı tür ve toplam 14 adet numune hazırlanmıştır

Deney örneklerinin her üç yöndeki boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı mikrometrik dijital kumpas ile, ağırlıklar ise $\pm 0,01$ g duyarlıklı dijital terazide ölçülmüş olup, hacimler stereometrik metod ile belirlenmiştir. Buna göre hava kuru yoğunluklar;

$$\delta = \frac{M}{V} \text{ g/cm}^3$$

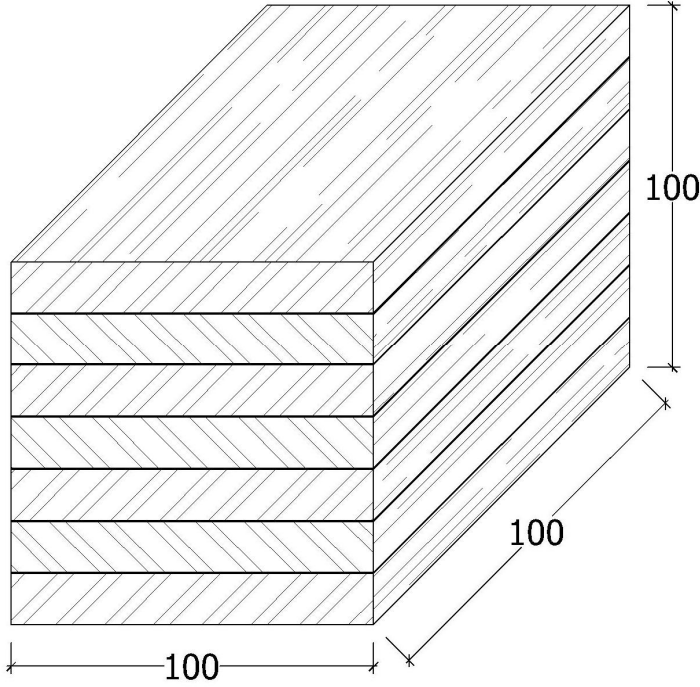
eşitliğinden hesaplanmıştır.

Burada;

$$\delta = \text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}$$

$$M = \text{Hava Kuru Ağırlık (g)}$$

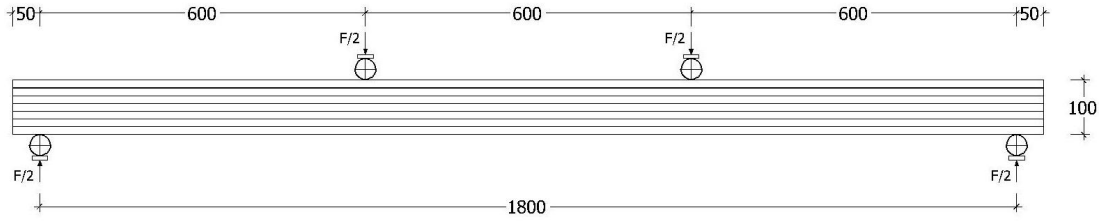
$$V = \text{Hava Kuru Hacim (cm}^3\text{)}$$



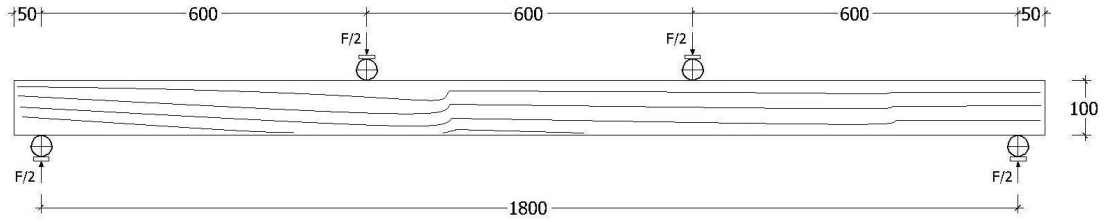
Şekil 4.4 Yoğunluk deney örneği (ölçüler mm)

4.5.2. Eğilme direnci

Eğilme direnci ve elâstiklik modülü deneylerinde TS 5497 EN 408 standardına uyulmuştur. Uygulama boyutundaki yapı malzemesinde kuvvet merkeze göre simetrik iki noktadan uygulanır. Bunun nedeni kuvvet uygulama noktaları arasında makaslama gerilmesi oluşmadan malzemenin bu noktalar arasında en zayıf yerden kırılmasını sağlamaktır. Buna göre hazırlanan deney düzeneğinde deney parçasının uzunluğu, kesit derinliğinin en az 19 katı olmalıdır. Bu maksatla belirlenen tutkal ve ara katman malzemelerinin her biri için 100x100x1900 mm boyutlarında tutkal hattına dik (Şekil 4.5) ve tutkal hattına paralel (Şekil 4.6) olmak üzere çift yönlü 36 adet ve masif kontrol numuneleri dahil toplam 39 adet deney örneği hazırlanmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi mesnetler arası mesafe, yüksekliğin 18 katı olacak şekilde düzenlenmiştir. Yükleme sabit bir hızda uygulanmış, iki eğilme noktasında 3-7 dakika arasında en büyük yüke ulaşacak şekilde simetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapı Eğitimi Bölümü'ndeki üniversal test cihazında yapılan deneyler uygulanan yükü %1 doğrulukla ölçebilecek şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Tutkal hattına dik deney örneği (ölçüler mm)



Şekil 4.6 Tutkal hattına paralel deney örneği (ölçüler mm)

Bu durumda eğilme direnci;

$$\sigma_E = \frac{3}{2} \cdot \frac{F(L_s - L)}{b \cdot h^2}$$

Burada;

σ_E = Eğilme Direnci (N/mm²)

F = $2F/2$ (N)

L_s = Mesnetler arası mesafe (mm)

L = Uygulanan $F/2$ Kuvvetleri arasındaki mesafe (mm)

b = Parça genişliği (mm)

h = Parça yüksekliği (mm)

4.5.3. Eğilmede elâstiklik modülü

Eğilmede elâstiklik modülü deneylerinde TS 5497 EN 408 standardına uyulmuştur. Uygulama boyutundaki yapı malzemesinde kuvvet merkeze göre simetrik iki noktadan uygulanır. Burada hazırlanan deney düzeneğinde deney parçasının uzunluğu, kesit derinliğinin en az 19 katı olmalıdır. Bu maksatla belirlenen tutkal ve ara katman malzemelerinin her biri için 100x100x1900 mm boyutlarında tutkal hattına dik (Şekil 4.5) ve tutkal hattına paralel (Şekil 4.6) olmak üzere çift yönlü 36 adet ve masif kontrol numuneleri dahil toplam 39 adet deney örneği hazırlanmıştır. Şekillerde görüldüğü gibi mesnetler arası mesafe, yüksekliğin 18 katı olacak şekilde düzenlenmiştir. Yük sabit bir oranda uygulanmıştır ve yükleme başlığının hareket hızı en yüksek, 0,003 h mm/s' olmuştur. Uygulanan en büyük yük $\max 0,4F_1$ 'ı geçmemiştir. Eğitimi Bölümü'ndeki universal test cihazında yapılan deneyler uygulanan yükü %1 doğrulukla ölçebilecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Eğilmede elastikiyet modülü;

$$E_{m,g} = \frac{\lambda^3 (F_2 - F_1)}{b_1 \cdot h_1^3 (W_2 - W_1)} \left[\left(\frac{3a}{4\lambda} \right) - \left(\frac{a}{\lambda} \right)^3 \right]$$

Burada;

$E_{m,g}$ = Elastikiyet modülü N/mm²

λ = Esneklik modülünün tayini için ölçülen uzunluk (mm)

b_1 = Örnek genişliği cm (Teğet ölçü)

h_1 = Örnek yüksekliği cm (Radyal ölçü)

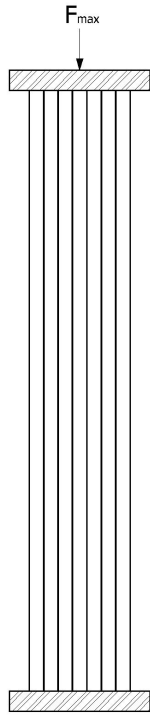
a = Yükleme noktası ile en yakın mesnet arasındaki mesafe (mm)

$F_2 - F_1$ = Yük sehim eğrisinin doğru hattı üzerindeki yük oranının artışı, N

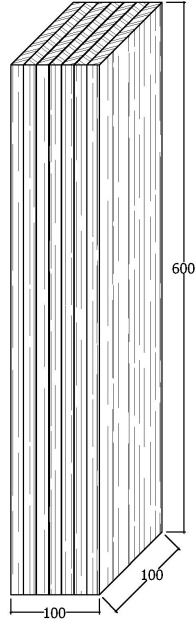
$W_2 - W_1 = F_2 - F_1$ 'e karşılık gelen deformasyondaki artış, mm

4.5.3. Basınç direnci

Basınç direnci deneylerinde TS 5497 EN 408 esaslarına uyulmuştur. Buna göre deney parçasının en kesiti kusursuz olmalı ve deney parçasının uzunluğu, daha küçük en kesitin boyutunun altı katı olmalıdır. Bu bağlamda 100x100x600 mm boyutlarında hazırlanan deney parçasının uç yüzeylerinin, düzgün, birbirine paralel ve deney parçasının eksenine dik olması sağlanmıştır (Şekil 4.7). Farklı tutkal ve ara katman malzemeleri kullanılarak elde edilen kompozit laminasyon örnekleri, farklı tutkallardan üretilen masif laminasyon ve ayrıca masif numunelerde dahil her çeşit örnekten 3'er adet olmak üzere 7 farklı tür ve toplam 21 adet numune hazırlanmıştır (Şekil 4.8).



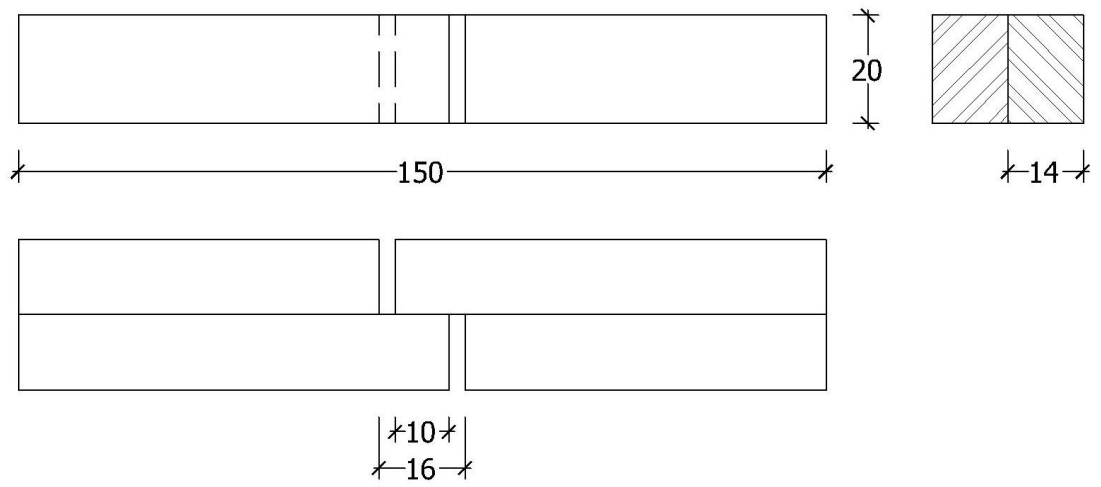
Şekil 4.7 Basınç direnci deneyi



Şekil 4.8 Basınç direnci deney örneği (ölçüler mm)

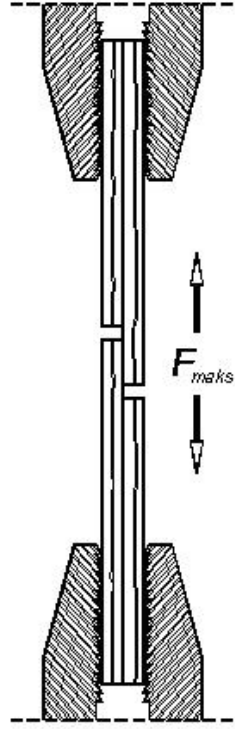
4.5.4. Yapışma direnci

Yapışma direnci deneylerinde BS EN 204 ve BS EN 205 esaslarına uyulmuştur. Lâmine edilmiş ağaç malzemelerden üretilen her türden 28x20x150 mm boyutlarında 10 adet olmak üzere toplam 60 adet deney örneği hazırlanmıştır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Yapışma direnci deneyi örneği (ölçüler mm)

Hazırlanan deney örnekleri için belirlenen standarda uygun olarak deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Yapışma direnci deney düzeneği [72]

Yapışma direnci (σ)' nın hesaplamasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma = \frac{F_Y}{A} = \frac{F_Y}{b_2 \cdot \lambda_1}$$

Burada;

σ = Yapışma Direnci (N/mm²),

F_Y = Kopma anındaki kuvvet (N),

b_2 = Yapışma yüzeyinin genişliği (mm),

λ_1 = Yapışma yüzeyinin uzunluğu (mm)' dir.

4.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Deneylerde elde edilen verilere ait istatistiksel sonuçlar (aritmetik ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı %) hesaplanmıştır.

Deney sonuçlarını belirlemek amacıyla, tüm gruplar için elde edilen değerlere faktörlerin etkisini belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi (VANOVA) yapılmıştır. Farklılığın $p < 0,05$ 'e göre istatistiksel anlamda önemli çıkması halinde farklılıkların gruplar arasındaki önemi LSD testi ile belirlenmiştir. Böylece, denemeye alınan faktörlerden lâminasyon tiplerinin birbirlerine göre başarı sıralamaları, en küçük önemli fark (*LSD*) kritik değerine göre homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

5. BULGULAR

5.1. Yoğunluk

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluklarına ait ortalama değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yoğunluk ortalama değerleri (g/cm³)

Tutkal	Destek Malzemesi	Yoğunluk
PVAc	Kontrol	0,47
	Fiber-glass tel file	0,45
	Alüminyum tel file	0,48
Desmodur-VTKA	Kontrol	0,50
	Fiber-glass tel file	0,49
	Alüminyum tel file	0,49
Masif Numune		0,54

5.2. Eğilme Direnci

5.2.1. Tutkal hattına dik eğilme direnci

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin tutkal hattına dik (THD) eğilme dirençlerine ait istatistiki değerler çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tutkal hattına dik eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	36,58	42,35	39,47	2,88500144	7,309353
	Fiber-glass tel file	43,68	49,29	46,48	2,80500149	6,034859
	Alüminyum tel file	9,05	9,96	9,51	0,45500916	4,784534
Desmodur-VTKA	Kontrol	43,11	44,03	43,57	0,46	1,055772
	Fiber-glass tel file	44,71	50,80	47,76	3,05	6,375631
	Alüminyum tel file	59,50	61,25	60,37	0,875004762	1,449403
	Masif	34,24	41,79	38,02	3,7750011	9,928988

Xmin = En küçük değer Xort = Aritmetik ortalama Xmax = En yüksek değer
 SS = Standart Sapma V = Varyasyon Katsayısı (Değişim Katsayısı)

Tutkal hattına dik eğilme direnci değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün tutkal hattına dik eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	1581,656	1581,656	356,1278	0,0000
Destek Malzemesi (B)	2	446,011	223,006	50,2122	0,0000
AB	2	2327,159	1163,579	261,9931	0,0000
Hata	12	53,295	4,441		
Toplam	17	4408,121			

SD = Serbestlik derecesi

Varyans kaynaklarının tutkal hattına dik eğilme direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistikî anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal türü karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Tutkal çeşidinin tutkal hattına dik eğilme direnci etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları

Tutkal Çeşidi	\bar{X}	HG
PVAc	31,82	B**
Desmodur-VTKA	50,57	A*

LSD = 2,096 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

\bar{X} = Aritmetik ortalama HG = Homojenlik grubu

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; tutkal çeşitleri arasındaki THD en yüksek eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	41,52	B
Fiber-glass tel file	47,12	A*
Alüminyum tel file	34,94	C**

LSD = 2,567 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THD eğilme direnci değeri fiber-glass tel file, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel fileden elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları

Tutkal	Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
PVA	Kontrol	39,47	D
	Fiber-glass tel file	46,48	BC
	Alüminyum tel file	9,507	E**
Desmodur-VTKA	Kontrol	43,57	C
	Fiber-glass tel file	47,76	B
	Alüminyum tel file	60,37	A*

LSD = 3,630 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin arasındaki en yüksek THD eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede, en düşük THD eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir.

5.2.2. Tutkal hattına paralel eğilme direnci

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin tutkal hattına paralel (THP) eğilme dirençlerine ait istatistikî değerler çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Tutkal hattına paralel eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	45,17	47,06	46,11	0,945004	2,04946
	Fiber-glass tel file	46,28	52,20	49,24	2,96	6,01137
	Alüminyum kafes teli	37,76	41,36	39,56	1,8	4,55005
Desmodur-VTKA	Kontrol	49,69	57,02	53,35	3,665001	6,86973
	Fiber-glass tel file	48,60	52,20	50,40	1,8	3,57143
	Alüminyum kafes teli	49,27	49,31	49,29	0,02	0,04058
Masif		25,81	31,62	28,72	2,905001	10,1149

Tutkal hattına paralel eğilme direnci değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün tutkal hattına paralel eğilme direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	164,348	164,348	33,3512	0,0001
Destek Malzemesi (B)	2	114,584	57,292	11,6262	0,0016
AB	2	58,306	29,153	5,9160	0,0163
Hata	12	59,134	4,928		
Toplam	17	396,372			

Varyans kaynaklarının yapışma direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal türü karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Tutkal çeşidinin tutkal hattına paralel eğilme direnci etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları

Tutkal Çeşidi	\bar{X}	HG
PVAc	44,97	B**
Desmodur-VTKA	51,01	A*

LSD = 2,208 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; tutkal çeşitleri arasındaki THP en yüksek eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	49,73	A*
Fiber-glass tel file	49,82	A*
Alüminyum tel file	44,42	B**

LSD = 2,704 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THP eğilme direnci değeri fiber-glass tel fileden ve desteksiz kontrolden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel fileden elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları

Tutkal	Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
PVA	Kontrol	46,11	C
	Fiber-glass tel file	49,24	BC
	Alüminyum tel file	39,56	D**
Desmodur-VTKA	Kontrol	53,35	A*
	Fiber-glass tel file	50,40	AB
	Alüminyum tel file	49,29	BC

LSD = 3,824 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin arasındaki en yüksek THP eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş destek elemanı olmayan kontrol numunesinde, en düşük THP eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir.

5.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

5.3.1. Tutkal hattına dik eğilmede elastikiyet modülü

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin tutkal hattına dik (THD) eğilmede elastikiyet modülüne ait istatistiki değerler çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Tutkal hattına dik eğilmede elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	9761	11726,9	10743,95	982,95	9,14887
	Fiber-glass tel file	6985,3	9157,9	8071,60	1086,3	13,4583
	Alüminyum kafes teli	1734,8	1800	1767,39	32,6	1,84453
Desmodur-VTKA	Kontrol	14505,7	15001,6	14753,67	247,95	1,68060
	Fiber-glass tel file	6615	7178,5	6896,73	281,75	4,08527
	Alüminyum kafes teli	7209,4	7695,7	7452,58	243,15	3,26263
Masif		9450,6	13686,4	11568,51	2117,9	18,30746

Tutkal hattına dik eğilmede elastikiyet modülü değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün tutkal hattına dik eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkileri Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	36295310,591	36295310,591	92,7760	0,0000
Destek Malzemesi (B)	2	204435613,167	102217806,584	261,2834	0,0000
AB	2	38373363,769	19186681,884	49,0439	0,0000
Hata	12	4694572,571	391214,381		
Toplam	17	283798860,098			

Varyans kaynaklarının yapışma direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal türü karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Tutkal çeşidinin tutkal hattına dik eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları

Tutkal Çeşidi	\bar{X}	HG
PVAc	6861.	B**
Desmodur-VTKA	9701.	A*

LSD = 622.1 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; tutkal çeşitleri arasındaki THD en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Destek malzemesi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	12750.	A*
Fiber-glass tel file	7484.	B
Alüminyum tel file	4610.	C**

LSD = 761.9 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THD eğilmede elastikiyet modülü değeri desteksiz kontrolden, en düşük THD eğilmede elastikiyet modülü değeri ise alüminyum tel filenden elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları

Tutkal	Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
PVA	Kontrol	10740.	B
	Fiber-glass tel file	8072.	C
	Alüminyum tel file	1767.	E**
Desmodur-VTKA	Kontrol	14750	A*
	Fiber-glass tel file	6897.	D
	Alüminyum tel file	7453.	CD

LSD = 1077 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin karşılaştırmalı analizindeki en yüksek THD eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş destek elemansız kontrol numunesinde, en düşük THD eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir.

5.3.2. Tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülü

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin tutkal hattına paralel (THP) eğilmede elastikiyet modülüne ait istatistiki değerler çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	9145,1	9584,1	9364,58	219,5	2,34394
	Fiber-glass tel file	8076,7	9208,1	8642,40	565,7	6,54564
	Alüminyum kafes teli	8973,6	10050,5	9512,07	538,45	5,66070
Desmodur-VTKA	Kontrol	15765,3	19787,4	17776,31	2011,05	11,3131
	Fiber-glass tel file	7215,6	7328,8	7272,22	56,6	0,77830
	Alüminyum kafes teli	8261,8	9515,8	8888,76	627	7,05385
Masif		6557,3	6885,2	6721,24	163,95	2,43928

Tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülü değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülüne etkileri Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	20597160,834	20597160,834	24,2377	0,0004
Destek Malzemesi (B)	2	104300411,941	52150205,971	61,3679	0,0000
AB	2	88937833,526	44468916,763	52,3289	0,0000
Hata	12	10197561,694	849796,808		
Toplam	17	224032967,995			

Varyans kaynaklarının yapışma direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal türü karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Tutkal çeşidinin tutkal hattına paralel eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları

Tutkal Çeşidi	\bar{X}	HG
PVAc	9173.	B**
Desmodur-VTKA	11310.	A*

LSD = 916,8 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; tutkal çeşitleri arasındaki THP en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.20'da verilmiştir.

Çizelge 5.20. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	13570.	A*
Fiber-glass tel file	7957.	C**
Alüminyum tel file	9200	B

LSD = 1123 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THP eğilmede elastikiyet modülü değeri desteksiz kontrolden, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise fiber-glass tel fileden elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi düzeyinde karşılaştırmalı olarak yapılan Duncan testi sonuçları

Tutkal	Destek Malzemesi	<i>X</i>	HG
PVA	Kontrol	9365	B
	Fiber-glass tel file	8642	BC
	Alüminyum tel file	9512	B
Desmodur-VTKA	Kontrol	17780	A*
	Fiber-glass tel file	7272	C**
	Alüminyum tel file	8889	BC

LSD = 2588 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi birlikte değerlendirildiğinde en yüksek THP eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, destek elemanı olmayan kontrol numunesinde, en düşük THP eğilmede elastikiyet modülü değeri ise Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, fiber-glass tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir.

5.4. Basınç Direnci

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin basınç dirençlerine ait istatistiki değerler çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Basınç direnci değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	37,84	38,75	38,30	0,45501	1,18801
	Fiber-glass tel file	34,18	37,11	35,65	1,465	4,10940
	Alüminyum kafes teli	30,84	37,72	34,28	3,44	10,0350
Desmodur-VTKA	Kontrol	35,87	40,31	38,09	2,22	5,82830
	Fiber-glass tel file	35,09	38,57	36,83	1,74	4,72441
	Alüminyum kafes teli	34,18	36,30	35,24	1,06	3,00795
Masif		34,65	34,79	34,87	0,11136	0,31934

Basınç direnci değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.23’de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün basınç direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	1,875	1,875	0,4836	N.S.*
Destek Malzemesi (B)	2	35,591	17,795	4,5891	0,0331
AB	2	1,672	0,836	0,2155	N.S.*
Hata	12	46,533	3,878		
Toplam	17	85,670			

N.S. =Non significant (İstatistiksel olarak anlamsız)

Varyans kaynaklarının basınç direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık sadece destek malzemesi çeşidi düzeyinde istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	38,19	A*
Fiber-glass tel file	36,24	AB
Alüminyum tel file	34,76	B**

LSD = 2,399 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek basınç direnci değeri destek elemansız kontrol numunesinden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel filenden elde edilmiştir.

5.5. Yapışma Direnci

Lâmine ağaç malzeme, lamine edilmiş tabakalı kompozit malzeme ve masif ağaç malzemelerin yapışma dirençlerine ait istatistiki değerler çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Yapışma direnci değerleri (N/mm²)

Tutkal	Destek Malzemesi	Xmin	Xmax	Xort	SS	V (%)
PVA	Kontrol	4,1	4,65	4,36	0,2752	6,310466
	Fiber-glass tel file	3,85	4,36	4,07	0,2558	6,284998
	Alüminyum tel file	3,55	3,99	3,75	0,2203	5,874742
Desmodur-VTKA	Kontrol	4,75	5,32	4,98	0,2868	5,758304
	Fiber-glass tel file	4,11	4,72	4,38	0,31	6,978737
	Alüminyum tel file	3,78	4,34	4,02	0,281	6,988825

Yapışma direnci değerlerine tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları Çizelge 5.26’da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün yapışma direnci değerlerine etkilerine ilişkin Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P ≤ 0,05
Tutkal Çeşidi (A)	1	2,400	2,400	61,3056	0,0000
Destek Malzemesi (B)	2	6,232	3,116	79,5932	0,0000
AB	2	0,361	0,180	4,6086	0,0142
Hata	54	2,114	0,039		
Toplam	59	11,107			

Varyans kaynaklarının yapışma direncine etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($\alpha = 0,05$).

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal türü karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.27’de verilmiştir.

Çizelge 5.27. Tutkal çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları

Tutkal Çeşidi	\bar{X}	HG
PVAc	4,059	B**
Desmodur-VTKA	4,459	A*

LSD = 0,1020 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; tutkal çeşitleri arasındaki en yüksek yapışma direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük yapışma direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan destek malzemesi çeşidi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Destek malzemesi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırmalı sonuçları

Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
Kontrol	4,670	A*
Fiber-glass tel file	4,223	B
Alüminyum tel file	3,883	C**

LSD = 0,1250 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek yapışma direnci değeri desteksiz kontrolden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel fileden elde edilmiştir.

Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları Çizelge 5.29'de verilmiştir.

Çizelge 5.29. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi karşılaştırmalı Duncan testi sonuçları

Tutkal	Destek Malzemesi	\bar{X}	HG
PVA	Kontrol	4,361	B
	Fiber-glass tel file	4,067	C
	Alüminyum tel file	3,748	D**
Desmodur-VTKA	Kontrol	4,979	A*
	Fiber-glass tel file	4,379	B
	Alüminyum tel file	4,018	C

LSD=0,1767 * = En yüksek değer ** = En düşük değer

Uygulanan Duncan testi sonuçlarına göre; Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin karşılaştırmalı analizindeki en yüksek yapışma direnci değeri Desmodur-

VTKA tutkalı ile birleştirilmiş ara katmansız kontrol numunesinde, en düşük yapışma direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, son yıllarda laminasyon işleminin etkisini arttırmak için kullanılan genellikle fiber esaslı plakalar gibi ahşap dışı malzemelerin laminasyon işlemine katılarak yeni kompozit yapı ürünleri elde edilmesinden yola çıkılmış, yapı malzemesi olarak kullanabilecek daha farklı ve güçlü kompozit laminasyon ürünleri elde etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla gözenekli yapıdaki fiber ve alüminyum file tel gibi bazı endüstriyel yapı ürünleri ahşap laminasyona ara katmanlar olarak eklenerek, masif ve masif laminasyon örnekleriyle karşılaştırılmış ve elde edilen sayısal veriler değerlendirilmiştir.

Tutkal çeşitleri arasındaki THD en yüksek eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THD eğilme direnci değeri fiberglass tel file, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel filenden elde edilmiştir. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin arasındaki en yüksek THD eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede, en düşük THD eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir. Bu durum Desmodur-VTKA tutkalının, alüminyum tel file katmanı ve ahşap katman arasında, PVAc tutkalına nazaran daha iyi kimyasal bağ kurmasına yardımcı olmasından kaynaklanabilir.

Tutkal çeşitleri arasındaki THP en yüksek eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THP eğilme direnci değeri fiberglass tel fileden ve desteksiz kontrolden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel filenden elde edilmiştir. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin arasındaki en yüksek THP eğilme direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, destek elemanı olmayan kontrol numunesinde, en düşük THP eğilme direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile

desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir. THP eğilme direncinde, Desmodur-VTKA tutkalı kullanılan numunelerde destek katmanları eğilme direncini düşürmüştür. PVAc tutkalında ise ara dolgu malzemelerinden fiber-glass tel file eğilme direncini yükseltirken, alüminyum file katmanı eğilme direncini düşürmüştür. Bu durum, alüminyum malzemenin yerleşim hattına paralel etkiler karşısında tutkal hattının deformasyonuna kısmet etki ettiği ve yapışmanın zayıflaması ile bu yöndeki direnci azalttığı şeklinde yorumlanabilir.

Tutkal çeşitleri arasındaki THD en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THD eğilmede elastikiyet modülü değeri desteksiz kontrolden, en düşük THD eğilmede elastikiyet modülü değeri ise alüminyum tel filenden elde edilmiştir. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin karşılaştırmalı analizindeki en yüksek THD eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş destek elemansız kontrol numunesinde, en düşük THD eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemede elde edilmiştir. Destek malzemelerinin elastikiyet modülünü azaltan yönde etki gösterdiği ve özellikle fiber esaslı katmanın malzemede elastiklik modülünü düşürerek elastikliği artırdığı görülmüştür. Bu durumun kullanılan ara katmanların sahip oldukları elastiklik kabiliyetlerinin yanında bu malzemelerin file yapıda olması ile daha sünek bir davranış sergileyebilmelerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Tutkal çeşitleri arasındaki THP en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek THP eğilmede elastikiyet modülü değeri desteksiz kontrolden, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise fiber-glass tel filenden elde edilmiştir. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisi birlikte değerlendirildiğinde en yüksek THP eğilmede elastikiyet modülü değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, destek elemanı olmayan kontrol numunesinde, en düşük THP eğilmede elastikiyet modülü

değeri ise Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş, fiber-glass tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemedede elde edilmiştir. Bu durum, THD malzemeler kadar olmasa dahi THP yönde de file yapıdaki malzemelerin fiziksel yapılarına bağlı olarak elastikliği artırdıkları şeklinde yorumlanabilir.

Basınç direnci sonucunda elde edilen değerlerde sadece destek malzemesi çeşidi yönünden anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek basınç direnci değeri destek elemansız kontrol numunesinden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel fileden elde edilmiştir. Bu durum deneylerde kullanılan kompozit örneklerin, basınç direncini olumsuz yönde etkilediği, basınç direncinin arzu edildiği durumlarda bu malzemenin kullanılmasının uygun olmadığı sonucunu doğrular ve ara destek malzemelerinin yapışma hattında olumsuz etki etmesi ile ilişkili olarak değerlendirilebilir.

Tutkal çeşitleri arasındaki en yüksek yapışma direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalından, en düşük yapışma direnci değeri ise PVAc tutkalından elde edilmiştir. Destek malzemesi çeşitleri arasındaki en yüksek yapışma direnci değeri desteksiz kontrolden, en düşük eğilme direnci değeri ise alüminyum tel fileden elde edilmiştir. Tutkal çeşidi ve destek malzemesi türünün her ikisinin karşılaştırmalı analizindeki en yüksek yapışma direnci değeri Desmodur-VTKA tutkalı ile birleştirilmiş ara katmansız kontrol numunesinde, en düşük yapışma direnci değeri ise PVAc tutkalı ile birleştirilmiş, alüminyum tel file ile desteklenmiş tabakalı lamine kompozit malzemedede elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ara katman malzemelerinin yapışmayı olumsuz yönde etkilemiş olmasından kaynaklanabilir.

Yapılan tutkal hattına dik eğilme direnci deneylerinde, eğilme direncini arttırma amacı gerçekleştirilmiştir. Özellikle Desmodur-VTKA tutkalı kullanılarak elde edilen alüminyum tel filenin ara katmanı olarak kullanıldığı kompozit laminasyon malzemesi, yine aynı tutkalın kontrol numunesine kıyasla %38,5 daha fazla eğilme direnci göstermiştir. Yine tutkal hattına dik eğilme direnci deneylerinde, PVAc tutkalı kullanılarak elde edilen numuneler arasında, fiber-glass tel file katmanının destek elemanı olarak kullanıldığı örneklerde, masif laminasyon kontrol numunesine

kıyasla %17,8'lik bir eğilme direnci artışı gözlemlenmiştir. Aynı deneyde kullanılan alüminyum tel file katmanı ise PVAc tutkalıyla yeterince iyi bir kimyasal bağ kuramadığından eğilme direncini %75,9 oranında düşürmüştür.

Tez kapsamında yapılan tüm deneylere ilişkin sıralamalar Çizelge 6.1.' de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Tez çalışması kapsamında yapılan tüm deneylere ait sonuçlar

	Kontrol PVAc	Kontrol D-VTKA	Alm. PVAc	Alm D-VTKA	Fiber PVAc	Fiber D-VTKA
Eğilme D. THD	D	C	<i>E**</i>	A*	BC	B
Eğilme D. THP	C	A*	BC	BC	<i>D**</i>	AB
Elastikiyet M. THD	B	<i>A*</i>	E	CD	B	D**
Elastikiyet M. THP	B	<i>A*</i>	B	BC	BC	C**
Basınç	A*	A*	<i>B**</i>	<i>B**</i>	AB	AB
Yapışma	B	A*	<i>D**</i>	C	C	B

* = En yüksek değer,

** = En düşük değer,

Kalın Yazı = Olumlu Özellik,

İtalik Yazı = Olumsuz Özellik

Buna göre; 7 farklı malzeme türünden 6 farklı deneyde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Basınç deneyinde ara katman malzemesi dışındaki etkenlerin önemli bir farklılığa neden olmadığı, bunun dışındaki tüm deney ve numuneler için kullanılan değişkenlerin (Tutkal, Ara katman malzemesi) etkili birer faktör olduğu görülmüştür. Bu bağlamda tüm deneyler açısından Poliüretan (Desmodur-VTKA) tutkalın mukavemeti artırdığı, yapışmada ara katman malzemesinin zayıflatıcı etki

yaptığı, THP numunelerde ara katman malzemesinin tutkal hattının ayrılmasına bağlı olarak güçlendirme etkisi bulunmadığı, özellikle fiber malzemenin malzemede elastiklik modülünü düşürerek elastikliği artırdığı ve en önemli sonuç olarak THD etkilere karşı ara katman malzemesinin yüksek oranda bir mukavemet artışı sağladığı, bu artışın alüminyum esaslı ara katman malzemesinde daha yüksek seviyede olduğu görülmüştür.

Elde edilen bütün deneysel sonuçlar itibariyle uygun tutkal ve ara destek malzemelerinin kullanılması ile elde edilecek yeni kompozit laminasyon ürünlerinin, tutkal hattına dik yöndeki eğilme direncini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Endüstriyel tutkallar öncelikli olmak üzere daha çok tutkal çeşidinin ve farklı endüstriyel ara katman ürünlerinin denenmesinin ahşap laminasyondaki fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri iyileştirmek anlamında önemli sonuçlar doğurabileceği öngörülmektedir. Plaka halindeki ara dolgu malzemelerinin yanında, gözenekli yapıdaki endüstriyel ürünlerin de ara destek malzemesi olarak kullanılmasının faydalı olacağı görülmüştür. Ayrıca farklı ara katman simetrisiyle yine önemli sonuçlar elde edilebileceği yönünde fikir sahibi olunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Keskin, H., “Lâmine masif ağaç malzemelerin teknolojik özellikleri ve ağaç işleri endüstrisinde kullanım imkanları” , Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-7, 31-39 (2001).
2. Cowan, H. J., “Handbook of Architectural Technology, 18th ed.”, **Van Nostrand Reinhold**, Newyork USA, 1-490 (1991).
3. Sağlam, B. A., “Büyük açıklıklı yapılarda prefabrike betonarme, çelik ve tutkallı tabakalanmış ahşap dolu gövdeli kirişlerin karşılaştırılması ve bir örnek üzerinden irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2-3 (2009).
4. TS EN 386, “Yapıştırılmış lâmine ahşap performans özellikleri ve asgari üretim şartları”, **TSE**, Ankara, 1-11 (1999).
5. Örs, Y. ve Keskin, H., “Lâmine edilmiş masif karaçam (*Pinus nigra* var. *Pallasiana*) odununun bazı teknolojik özellikleri ve kullanım imkanları”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 15 (3): 699-707 (2002).
6. Bozkurt, Y., Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, **İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını**, 3445: 373-386 (1987).
7. Dilik, T., “Lâmine ağaç malzemedden pencere profili üretimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 22-28 (1997) .
8. BS EN 204, “Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications”, **British Standart Institution**, UK, 1-12, (2001).
9. internet: Hadim Boya “Ürünler – Tutkallar – Teknik Döküman” <http://hadimboya.com.tr/urunler/datasheets/303-0.pdf> (2011).
10. Taheri, F., Nagaraj, M., Khosravi, P., “Buckling response of glue-laminated columns reinforced with fiber-reinforced plastic sheets”, **Composite Structures** , 88: 481-490 (2009).
11. Keskin, H. ve Togay, A. “Doğu Kayını (*Fagus Orientalis* L.) ve Kara Kavak (*Populus Nigra* L.) kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi** , 2: 101-114 (2003).

12. Keskin, H. ve Togay, A., “Lamine edilmiş karaçam odununda kesiliş yönünün eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülüne etkileri”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14: 13-25, (2004)
13. Stevens, W. C. and Turner, N., “Wood Bending Handbook, 10th ed.”, *Fox Chapel Publishing*, England, 90-110, (2007).
14. Atmaca, A., “Laminasyonlu Ahşap kirişlerin çeşitli yapılarda kullanımı”, Yüksek Mühendislik Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 2-3 (2005).
15. Zorlu, İ., “Ağaç İşleri Konstrüksiyon Bilgisi Temel Ders Kitabı”, *M.E.B. Yayını*, İstanbul, 1-319, (2).
16. Bozkurt, A. Y., Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, *İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi*, İstanbul, 1-417 (1996).
17. Karayılmazlar, S., Çubuk, Y., Atmaca, A., Aşkın, A., “Orman ürünleri endüstrisinde laminasyon tekniği ve önemi”. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11: 78-86, (2007).
18. Spannagel, F., “Der möbel bau”, *Vincentz Network GmbH & Co KG*, Stuttgart, Germany, 13-78, (2002).
19. Marra, A. A., “Technology of wood bonding”, *Van Nostrand Reinhold*, New York, 265-310, 331-344 (1992).
20. Trada Technology Ltd., “Structural glued joints in timber”, *Trada Wood Information*, USA, 2(3): 31 (1992).
21. Örs, Y., Keskin, H., “Ağaç Malzeme Teknolojisi”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 141-142 (2008).
22. Internet: Wikipedia The Free Encyclopedia “Random Files” http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Petaluma_CA_Wooden_Bridge_over_Petaluma_River.jpg (2011).
23. Internet: Wikipedia The Free Encyclopedia “Random Files” http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centre_Pompidou_de_Metz.JPG (2011).
24. Internet: Wikipedia The Free Encyclopedia “Random Files” http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keystone_Wye_Bridges.jpg (2011).

25. Ersoy, M. S., “Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2001).
26. Aran, A., “Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler”, *İTÜ Matbaası*, İstanbul, 95 (1990).
27. Mallick, P.K., “Composites Engineering Handbook”, *Marcel Dekker, Inc.*, Newyork USA, 1-5 (1997).
28. Agarwall, B.D., Broutman L.J., “Analysis and Performance of Fiber Composites, 2nd ed.”, *John Wiley & Sons*, Hoboken New Jersey USA, 4 (1990).
29. Can, V., “Kompozit sandviç panellerin şekillendirilebilirliğinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 19-20 (2008).
30. Togay, A., “Ahsap yapılar, Türkiye'de ahşap yapı endüstrisinin durumu, sorunları ve çözüm önerileri” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (2002).
31. Erkoç, E., “Günümüz teknolojiyle üretilen ahşap konutların tasarım-uygulama-kullanım üçgeninde değerlendirilmesi (İstanbul örnekleri)”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-2 (2004).
32. Ekinci, C., E., “Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı”, *Nobel Basımevi*, Ankara, 715, 940 (2004).
33. Thelandersson, S., Larsen, H. J., “Timber Engineering”, *John Wiley & Sons Ltd*, England, 7 (2003).
34. Moody R. C., Hernandez R., Liu J. Y., “Glued Structural Members”, Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, *Forest Products Laboratory, USDA Forest Service*, Madison Wisconsin, 11 (3): 258-266 (1999).
35. Borri A., Corradi M., Grazini A., “A method for flexural reinforcement of old wood beams with cfrp materials”, *Composites: Part B*, 36(2): 143–153, (2005).
36. Camille A. Issa C.A., Kmeid Z., “Advanced wood engineering: glulam beams”, *Journal of Construction and Building Materials*, 19(2): 99–106 (2005).
37. De Lorenzis L., Scialpi V., La Tegola A., “Analytical and experimental study on bonded-in CFRP bars in glulam timber”, *Composites: Part B*, 36: 279–289 (2005).

38. Ogawa H., “Architectural application of carbon fibers development of new carbon fiber reinforced glulam”, *Carbon*, 38: 211–226, (2000).
39. Raftery G. M., Harte A. M., Rodd P. D., “Bond quality at the frp–wood interface using wood-laminating adhesives”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29: 101–110, (2009).
40. Corradi M., Speranzini E., Borri A., Vignoli A., “In-plane shear reinforcement of wood beam floors with FRP”, *Composites: Part B*, 37: 310–319 (2006).
41. Corradi M., Borri A., “Fir and chestnut timber beams reinforced with gfrp pultruded elements”, *Composites: Part B*, 38: 172–181 (2007).
42. Yahyaei-Moayyed M., Taheri F., “Experimental and computational investigations into creep response of afpr reinforced timber beams”, *Composite Structures*, 93: 616–628 (2011).
43. Kim Y., Davalos J.E., Barbero E.J., “Delamination buckling of frp layer in laminated wood beams”, *Composite Structures*, 37 (314): 311–320 (1997).
44. Raftery G.M., Harte A.M., Rodd P.D., “Bonding of frp materials to wood using thin epoxy gluelines”, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29: 580–588 (2009).
45. Pirvu A., Gardner D.J., Lopez-Anido R., “Carbon Fiber-Vinyl Ester composite reinforcement of wood using the VARTM/SCRIMP fabrication process”, *Composites: Part A*, 35: 1257–1265 (2004).
46. Premrov M., Dobrila P., Bedenik B.S., “Approximate analytical solutions for diagonal reinforced Timber-Framed walls with Fibre-Plaster coating material”, *Construction and Building Materials*, 18: 727–735 (2004).
47. Guan Z.W., Rodd P.D., Pope D.J., “Study of glulam beams pre-stressed with pultruded GRP”, *Computers and Structures*, 83: 2476–2487 (2005).
48. Ellingwood B.R., “Probability-Based LRFD for engineered wood construction”, *Structural Safety*, 19 (1): 53–65 (1997).
49. Xu H., Nakao T., Tanaka C., Yoshinobu M., Katayama H., “Effects of fiber length and orientation on elasticity of fiber-reinforced plywood”, *Journal of Wood Science*, 44: 343–347 (1998).

50. Kuo P.Y., Wang S.Y., Chen J.H., Hsueh H.C., Tsai M.J., “Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic composites manufactured by injection molding”, *Materials and Design*, 30: 3489–3496 (2009).
51. LeBorgne M.R., Gutkowski R.M., “Effects of various admixtures and shear keys in wood–concrete composite beams”, *Construction and Building Materials*, 24: 1730–1738, (2010).
52. Li Y.F., Xie Y.M., Tsai M.J., “Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets”, *Construction and Building Materials*, 23: 411–422 (2009).
53. Lopez-Anido R., Michael A.P., Sandford T.C., “Experimental characterization of FRP composite-wood pile structural response by bending tests”, *Marine Structures*, 16: 257–274 (2003).
54. Baiden B.K., Badu E., Menz F.S., “Exploring the barriers to the use and potential of timber for housing construction in Ghana”, *Construction and Building Materials*, 19: 347–352 (2005).
55. Gutkowski R., Brown K., Shigidi A., Natterer J., “Laboratory tests of composite wood–concrete beams”, *Construction and Building Materials*, 22: 1059–1066 (2008).
56. Rosowskya D. V., Bulleit W. M., “Load duration effects in wood members and connections: order statistics and critical loads”, *Structural Safety*, 24: 347–362, (2002).
57. Corinaldesi V., Moriconi G., “Local reinforcement of wood elements by means of composite materials”, *Università Politecnica delle Marche*, 1-4 (2006).
58. Xiong G., “Long-term behaviour of steel-strip reinforced wood shaving-cement board roof panel”, *Cement and Concrete Composites*, 20: 329-334 (1998).
59. Tungjitpornkull, S., Sombatsompop, N., “Processing technique and fiber orientation angle affecting the mechanical properties of e-glass fiber reinforced Wood/PVC composites”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 209: 3079–3088 (2009).
60. Dobrila P., Premrov M., “Reinforcing methods for composite timber frame–fiberboard wall panels”, *Engineering Structures*, 25: 1369–1376 (2003).

61. Gezer H., Aydemir B., “The effect of the wrapped carbon fiber reinforced polymer material on fir and pine woods”, *Materials and Design*, 31: 3564–3567 (2010).
62. Kuhta, M., Premrov, M., “Influence of fasteners disposition on behaviour of timber-framed walls with double fibre-plaster coating boards”, *Construction and Building Materials*, 23 (7): 2688-2693 (2007).
63. Döngel, N., “Lâmine ahşap malzemede ağaç türü, tutkal çeşidi ve katman sayısının eğilme direncine etkileri”, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-25, 16-17 (1999).
64. Senay, A., “Lâmine edilmiş doğu kayınının mekanik ve fiziksel özellikleri”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2, 70-125 (1996).
65. Keskin, H., Atar, M., Kurt, R., “Lâmine edilmiş sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1): 75-84 (2003).
66. Solfis, L. A., Rammer, D. R., “Shear strenght of unchecked glued-laminated beams”, *Forest Products Journal*, 44: 51-57 (1994).
67. Soltis, L. A., Rammer, D. R.; “Experimetal shear strenght of glued-laminated beams”, *Forest Product Lab*, 527 (1994).
68. Higgins, E., D., “Isocyanate reactive hot-melt adhesive for veneer laminates”, *Forest Products journal*, 72-76 (1995).
69. Hallstrom, S., Grenestedt, J. L., “Failure Analysis of laminated timber beams reinforced with glass fiber composite”s, *Wood Science and Technology*, 31: 17-34 (1997).
70. internet: SGT Sanayii ve Ticaret Ürünler Dış Ticaret Ltd. Şti. “Ürünler” <http://www.sgt.com.tr/ProductDetails.aspx?id=120> (2011).
71. internet: SGT Sanayii ve Ticaret Ürünler Dış Ticaret Ltd. Şti. “Ürünler” <http://www.sgt.com.tr/ProductDetails.aspx?id=139> (2011).
72. Söğütlü, C., “Bazı yerli ağaç türlerinin kündekâri yapımında kullanım imkanları”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-26,42 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ERGİN, Emre
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 31.07.1981 Karamürsel
Medeni hâli : Evli
Telefon : 0 (506) 3664134
E-mail : moreemre@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Öğretmenliği Bölümü	2008
Lise	Gölcük A.D.M.L. Gemi Elektroniği ve Haberleşme	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2011	M.E.B.	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Masa Tenisi, Otomobil