



KARBON VE CAM ELYAF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ISIL İŞLEMLİ KAYIN ODUNUNUN
BAZI FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ercan ÇİĞDEM

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Ekim - 2018

KARBON VE CAM ELYAF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ISIL İŞLEMLİ KAYIN ODUNUNUN
BAZI FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ercan ÇİĞDEM

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

Ekim-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ercan ÇİĞDEM'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "KARBON VE CAM ELYAF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ISIL İŞLEMLİ KAYIN ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

12/10/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

.....

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler Bölümü

.....

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN (Danışman)

Danışman, İç Mimari ve Çevre Tasarımı Bölümü

.....

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Murat ÖZALP

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

İç Mimari ve Çevre Tasarımı Bölümü, Necmettin Erbakan Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Necmi KAHRAMAN

Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi

.....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 11 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumu taahhüt ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

Ercan ÇİĞDEM

KARBON VE CAM ELYAF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ISIL İŞLEMLİ KAYIN ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ

Ercan ÇİĞDEM

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN

ÖZET

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odunundan elde edilen örnekler karbon ve cam fiber ile güçlendirilmiş ve fiziksel ve mekanik özelliklerindeki meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu amaçla, kayın ağacı 150, 175 ve 200 °C sıcaklıklarda 3 saat süre ile ısıl işleme tabi tutulduktan sonra uygun ölçülerde kaplamalar kesilmiş ve aralarına karbon ve cam fiber ekleyerek fenol formaldehit tutkalı kullanılarak 4 katmanlı lamine malzemeler üretilmiştir. Kontrol grubunda ise sadece kayın örnekler lamine edilmiştir. Örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, yapışma direnci ve hacimsel şişme değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak mekanik dirençler azalmıştır. En yüksek hava kurusu yoğunluk değeri ısıl işlemsiz ve cam fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (0,742 g/cm³), en yüksek eğilme direnci 150 °C'de ısıl işlem uygulanmış ve karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (123,95 N/mm²), en yüksek eğilmede elastikiyet modülü ısıl işlemsiz ve karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (13299 N/mm²), en yüksek liflere paralel basınç direnci ısıl işlemsiz ve takviyesiz örneklerde (69,75 N/mm²), en yüksek yapışma direnci ısıl işlemsiz ve takviyesiz örneklerde (10,57 N/mm²) belirlenmiştir. Hacimsel şişme testlerinde ise en yüksek değer ısıl işlemsiz ve takviyesiz örneklerde elde edilirken (% 15,96), en düşük 200 °C'de ısıl işleme maruz kalan ve karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (% 10,93) belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemedeki güçlendirici olarak karbon ve cam elyaf malzemenin kullanılması tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Cam elyaf, Isıl işlem, Karbon elyaf, Mekanik özellikler.

SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT TREATED BEECH WOOD REINFORCED WITH CARBON AND GLASS FIBER

Ercan ÇİĞDEM

Advanced Technologies, M.S. Thesis, 2018

Thesis supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman PERÇİN

SUMMARY

In this study, the samples obtained from heat treated at different temperatures beech (*Fagus orientalis* L.) wood were reinforced with carbon and glass fiber and the changes in the physical and mechanical properties were investigated. For this purpose, the beech wood was heat treated at 150, 175 and 200 °C for 3 hours, then the veneers were cut at appropriate dimensions and by adding carbon and glass fiber between veneers, 4 layers of laminated materials were produced using phenol formaldehyde adhesive. In control group, only fagus samples was laminated. The air-dried density value, bending strength, modulus of elasticity in bending strength, compressive strength parallel to the grain, bonding strength and volumetric swelling rate of the samples were determined.

As a results, the mechanical properties decreased with the heat treatment temperature. The highest air-dried density value in unheat-treated and reinforced samples with glass fiber (0,742 g/cm³), the highest bending strength in heat-treated at 150 °C and reinforced samples with carbon fiber (123,95 N/mm²), the highest modulus of elasticity in bending strength in unheat-treated and reinforced samples with carbon fiber (13299 N/mm²), the highest compressive strength parallel to the grain in unreinforced and unheat-treated samples (69,75 N/mm²), the highest bonding strength in unreinforced and unheat-treated samples (10,57 N/mm²) were determined. In the volumetric swelling tests, the highest value were determined in unreinforced and unheat-treated samples (15,96 %), the lowest value in heat-treated at 200 °C and reinforced samples with carbon fiber (10,93 %). According to these results, it is preferable to use carbon and glass fiber as the reinforcing material in the heat-treated wood material.

Keywords: Carbon fiber, Glass fiber, Heat treatment, Mechanical properties, Wood material.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman PERÇİN'e, desteğini esirgemeyen aileme, deneylerin yapımında tezgah ve teçhizat imkanı sağlayan Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve çalışanlarına, ayrıca yardımlarını esirgemeyen Dr. Hüseyin YEŞİL, Doç. Dr. Sait Dünder SOFUOĞLU ve Doç. Dr. Murat ÖZALP hocalarıma ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti.....	3
2. AĞAÇ MALZEME.....	8
2.1. Doğu Kayını (<i>Fagus Orientalis</i> Lipsky).....	8
3. LAMİNASYON TEKNİĞİ.....	10
3.1. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi	10
3.2. Laminasyonun Yararları	11
3.3. Laminasyonun Sakıncaları.....	12
3.4. Laminasyonda Ağaç Malzeme Seçimi.....	12
3.5. Yapışma Teorisi	14
3.5.1. Tutkallı birleştirmelerde yapışma direnci	15
3.5.2. Ağaç malzemede yapışma direncini etkileyen faktörler	16
3.6. Isıl İşlem Metodları.....	16
3.6.1. Sıcak yağ (OHT) metodu	17
3.6.2. Plato metodu	17
3.6.3. Retification metodu (Retified Wood)	18
3.6.4. Thermo wood metodu	18
3.7. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi	20
3.8. Karbon Fiber Elyafı (CFRP).....	23
3.9. Cam Fiber Elyafı (GFRP)	25

4. MATERYAL VE METOD	27
4.1. Ahşap Malzeme	27
4.2. Tutkal	27
4.3. Fiber Kumaşlar	27
4.4. Isıl İşlem	28
4.4.1. Laminasyon işlemi	28
4.4.2. Deney örneklerinin hazırlanması	29
4.5. Metod	30
4.5.1. Yoğunluk	30
4.5.2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü	31
5. BULGULAR	36
5.1. Yoğunluk	36
5.2. Eğilme Direnci	36
5.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü	40
5.4. Liflere Paralel Basınç Direnci	42
5.5. Yapışma Direnci	45
5.6. Hacimsel Şişme	47
6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR DİZİNİ	60
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi	11
3.2. Yapıştırıcı katmanın yapısı	14
3.3. Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısıtıl işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler	21
3.4. Karbon elyafı örnekleri	24
3.5. Karbon fiber elyafı üretim aşamaları	25
3.6. Cam fiber elyaf örnekleri	26
3.7. Cam elyafı üretimi	26
4.1. Fiber kumaşlar.....	28
4.2. Kumaşların hazırlanması.....	29
4.3. Pres işlemi.....	29
4.4. Yoğunluk değeri deney örneği.....	30
4.5. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deney örneği.....	31
4.6. Eğilme direncinin yapılışı.....	32
4.7. Liflere paralel basınç direnci deney örneği.....	33
4.8. Yapışma direnci deney örneği.....	34
4.9. Hacimsel şişme deney örneği.....	35
6.1. Test örneklerine ait yoğunluk değerleri.....	52
6.2. Test örneklerine ait eğilme direnci değerleri.....	53
6.3. Test örneklerine ait elastikiyet modülü değerleri.....	54
6.4. Isıtıl işlem ve elyaf türüne göre basınç dirençleri.....	55
6.5. Test örneklerine ait yapışma dirençleri.....	56
6.6. Test örneklerine ait hacimsel şişme değerleri.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri.	9
3.1. Karbon fiber (CFRP) malzemesinin bazı mekanik özellikleri	24
4.1. Tutkal özellikleri.	27
5.1. Hava kurusu yoğunluk değerleri.	36
5.2. Eğilme direnci değerleri.	37
5.3. Eğilme direncine ait varyans analizi sonuçları.....	37
5.4. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilme direnci	38
5.5. Takviye türüne göre eğilme direnci	38
5.6. Eğilme direncinde Duncan testi sonuçları	39
5.7. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri	40
5.8. Eğilmede elastikiyet modülüne ait varyans analizi	40
5.9. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilmede elastikiyet modülü	41
5.10. Takviye türüne göre eğilmede elastikiyet modülü	41
5.11. Elastikiyet modülünde Duncan testi sonuçları	42
5.12. Liflere paralel basınç direnci	43
5.13. Liflere paralel basınç direncine ait varyans analizi.	43
5.14. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel basınç direnci	44
5.15. Liflere paralel basınç direncinde Duncan testi sonuçları	44
5.16. Yapışma direnci ortalama değerleri.	45
5.17. Yapışma direncine ait varyans analizi.....	46
5.18. Isıl işlem sıcaklığına göre yapışma direnci	46
5.19. Takviye türüne göre yapışma direnci	46
5.20. Yapışma direncinde Duncan testi sonuçları	47
5.21. Hacimsel şişme değerleri	48
5.22. Hacimsel şişme değerlerine ait varyans analizi.....	48
5.23. Isıl işlem sıcaklığına göre hacimsel şişme değerleri.	49
5.24. Takviye türüne göre hacimsel şişme	49
5.25. Hacimsel şişmede Duncan testi sonuçları	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Örnek genişliği
F_{max}	Maksimum kuvvet
h	Örnek kalınlığı
$L_{a_{max}}$	Lif doygunluğu noktasında liflere paralel yöndeki ölçü
$L_{a_{min}}$	Tam kuru halde liflere paralel yöndeki ölçü
$L_{r_{max}}$	Lif doygunluğu noktasında radyal yöndeki ölçü
$L_{r_{min}}$	Tam kuru halde radyal yöndeki ölçü
L_s	Dayanak açıklığı
$L_{t_{max}}$	Lif doygunluğu noktasında teğet yöndeki ölçü
$L_{t_{min}}$	Tam kuru halde teğet yöndeki ölçü
δ_b	Liflere paralel basınç direnci
δ_e	Eğilme direnci
δ_{em}	Elastikiyet modülü
Δf	Eğilme miktarı
ΔF	Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı
δ_H	Hacimsel şişme
δ_y	Yapışma direnci
ρ	Yoğunluk
μ	Mikrometre

Kısaltmalar

Ni	Nikel
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

Açıklama

1. GİRİŞ

Ağaç malzeme insanoğlunun uzun yıllardır kullandığı en temel yapı malzemelerinden birisidir. Bu malzeme ilk zamanlarda barınak, silah yapımı ve yakacak olarak kullanılırken günümüzde artan nüfuz ve gelişen teknolojiyle beraber kullanım alanı artmıştır. Bununla beraber artan nüfuzla bağlı olarak dünyadaki orman varlıkları hızla azalmaktadır. Bu nedenle orman kaynaklarının daha verimli kullanılması ön plana çıkmaktadır. Sektördeki diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında birçok önemli avantajlara sahiptir. Örneğin özgül ağırlığının düşük olmasına karşın mekanik direncinin yüksek olması, estetik olması, doğal olması, ekonomik ve kolay erişebilir olması, bakım-onarım işlemlerinin kolay yapılabilmesi avantajlarından bazılarıdır. Ayrıca çeşitli renk ve desene sahip olması, çeşitli üst yüzey gereçleri ile renklendirme ve vernikleme işlemleri ile estetik ve ekonomik değerinin artırılması ile mobilya ve ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kurtoğlu, 2000). Bu üstün özelliklerinin yanı sıra ağaç malzeme doğal bir yapıda olduğu için kullanım yerlerinde çeşitli nedenlerden dolayı kusurlar çıkabilmekte buda ağaç malzemenin kullanım alanını sınırlayabilmektedir. Yapısal özelliklerinden dolayı bulunduğu ortamın rutubetinden boyutları değişebilmekte, yapısında bulunan karbon ve oksijenden dolayı kolaylıkla yanabilmekte, biyotik ve abiyotik faktörler tarafından yıkımlanabilmekte ve uzun sürelerde açık hava şartlarına maruz bırakıldığında rengi solmaktadır (Yıldız, 2002).

Son yıllarda ağaç malzemenin kullanım şekli, değişen insan ihtiyaçlarına karşılık verebilmek için ve gelişen teknoloji ile birlikte sürekli değişmektedir. Ağaç malzeme yapı sektöründe de yaygın olarak kullanılan doğal malzemelerin başında gelmektedir. Bu malzemenin endüstriyel anlamda yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması 19 yy başlar. Malzeme teknolojisi ile iç içe olan mimari anlayışlarda değişiklikler ortaya çıkmaya başlamış ve bu durum nispeten daha özgürlükçü mimarilerin çıkmasına katkı sağlamıştır. Değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte yeni ahşap esaslı malzemeler ortaya çıkmıştır. Özellikle II. Dünya savaşı ve sonrasında gereksinimleri karşılamak için yapıştırmacılar geliştirilmiş ve tutkal çeşitleri ile birlikte “tutkallı lamine konstrüksiyonlar” kullanılmaya başlanmıştır. Bunun neticesinde mimaride değişik ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Beceran, 2000).

Son yıllarda özellikle eğmeçli ve büyük boyutlu malzemelerin kullanılmasında masif ahşap malzemeye alternatif olarak bu ihtiyaçları karşılamak için laminasyon tekniği kullanılmaya başlanmıştır. Masif ağaç malzemenin eğri formda kullanılması ve büyük ölçülerde kullanılması verimli ve ekonomik olmamaktadır. Bu durum ağaç işleri endüstrisinde laminasyon

teknığının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Şanlı, 2008). Lamine ağaç malzemenin yapı sektöründe kullanılması son zamanlarda yaygınlaşsa da uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Lamine edilmiş ağaç masif malzeme ile kıyaslandığında mekanik direnç bakımından ve daha fazla boyutsal kararlılık kazanmasından dolayı yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Kamala vd., 1999). Lamine ağaç malzemenin bir diğer önemli avantajı ise, çok çeşitli kesitlerde kullanılabilmesidir. Lif yönü, tutkal tipi, ağacın yoğunluğu ve lamel kalınlığı gibi üretim parametreleri ve hammaddelerin çeşitliliği, lamine oluşturulmasında ve son ürünün kalitesinde önemli bir rol oynar (Kurtoglu, 1979; Youngquist vd., 1984).

Ağaç malzemenin yapısal özelliklerinden kaynaklanan ve kendisinde var olan bazı olumsuz özelliklerin sakıncalarını ortadan kaldırmak veya minimize etmek bununla beraber olumlu özelliklerin geliştirilmesi için birçok bilimsel araştırma ve geliştirme çalışmaları uygulanmaktadır. Bu araştırmalarda ağaç malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal anlamda değişiklikler amaçlanarak ağaç malzemeyi daha fazla dayanıklı yapma hedefi vardır. Bu amaçla yapılan çalışmalar genel anlamda “Ahşap Modifikasyonu Yöntemleri” olarak adlandırılmaktadır (Akkılıç vd., 2014). Ağaç malzemenin modifiye edilmesi alanında son yıllarda önemli gelişmeler ve çalışmalar olmaktadır. Buna neden olarak; ağaç malzemeye olan talebin sürekli artması, yüksek kalitede ürün talebi, dünyadaki orman varlığının sürekli olarak azalması, buna bağlı olarak çevre bilincinin artması, ağaç malzemenin temininde artan fiyat talepleri, havanın bozucu etkilerine karşı ağaç malzemenin korunaksız olarak uzun süre dayanamaması, böcek ve mantarlar tarafından tahrip edilmesi gibi bazı nedenler gösterilmektedir. Bunların sonucunda da bu sektörde kullanılmak üzere birçok değişik odun modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu geliştirilen metodlardan beklenen en kapsamlı amaç uygulanan yöntemle mümkün olan en fazla sayıda ağaç malzeme özelliklerinin artırılmasıdır. Bu yöntemlerden en fazla bilineni ve kullanılanı ağaç malzemelerin çeşitli kimyasal çözeltilerle emprenye kazanlarında emprenye edilmesidir. Ağaç malzemenin bu kimyasal maddelerle emprenye edilmesinde bir takım avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Emprenye maddesi ile muamele edine ağaç malzeme biyotik ve abiyotik faktörlere karşı belli bir direnç kazanmış olsa da, bununla beraber emprenye işlemi ve süreci belli bir maliyetide getirmektedir ve bazı kimyasallar zararlı toksinler içermektedir (Bozkurt vd.,1993; Berkel, 1972). Çevre ve insan sağlığı bakımından son dönemlerde zararlı toksinler içermeyen birçok emprenye maddesi ağaç malzemenin korunmasına yönelik kullanılmaktadır (Kartal ve Imamura, 2004).

Son yıllarda insan ve çevre sağlığı açısından ağaç malzemenin korunmasına yönelik çevre ve insan sağlığına zararı olmayan odun modifikasyon yöntemleri geliştirmek için yapılan bilimsel çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu çalışmalardan biriside ağaç malzemenin ısıyla modifiye edilmesidir. Günümüzde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir çok ısı işlem metodu başarılı bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Bunlar buhar yardımıyla uygulanan Thermowood metodu (Finlandiya), buharla birlikte sıcak havanında bir arada olduğu Plato metodu (Hollanda), Rectification ve Bois Perdure yöntemi (Fransa) ve son olarak sıcak yağ kullanılan (OHT- oil heat treatment) (Almanya) yöntemleridir. Daha farklı ısı işlem uygulamaları da araştırılmaya devam etmektedir. Bu ısı işlem yöntemlerinde ağaç malzeme oksijensiz bir ortamda kullanım yerine uygun olarak 200 °C'nin altında ve üstünde farklı sürelerde ısı işleme tabi tutulmaktadır. Bu ısı işlem metodları, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasalların kullanımına gerek kalmadan ahşabın boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığın arttırmaktadır (Özçifçi vd., 2009; Rapp, 2001).

Bu yöntemde ahşap malzemeler 150 - 250 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında ahşabın ısıtılmasıdır. Ağaç malzeme, yüksek sıcaklıkta ısı işleme tabi tutulduktan sonra çürüme direncinde artışlar olmaktadır. Isıl işlem uygulamasından sonra ağaç malzeme biyolojik olarak belli bir direnç kazanırken boyutsal stabilizasyon özelliklerinde önemli gelişmeler olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta ısı işlem uygulanmış ağaç malzemenin bu özelliklerinde gelişmeler olurken mekanik özelliklerinde düşüşler görülmektedir. Geliştirilen ısı işlem metodları hemen hemen bütün ağaç türlerinde kullanılabilir. Dünyadaki ısı işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım miktarı gün geçtikçe artmaktadır (Johansson, 2008; Mayes ve Oksanen, 2002).

Bu çalışmanın amacı; güçlendirici malzeme olarak kullanılan cam elyaf ve karbon elyafın ısı işlem uygulanmış ağaç malzemenin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, yapışma direnci, yoğunluk değerleri ve hacimsel şişme oranlarına etkisinin belirlenmesidir.

1.1. Literatür Özeti

Son yıllarda ısı işlem teknolojisi, lamine ağaç malzeme ve lamine ağaç malzemenin güçlendirilmesi ile ilgili birçok önemli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Doğu kayını, sapsız meşe, sarıçam ve Toros sediri odunlarından PAVc-D4 tutkalı ile lamine edilen örnekleri üzerinde, yoğunluk, termik genişleme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı, çalışma miktarı, basınç, eğilme, makaslama, çekme yarıma, yapışma ve elastikiyet modülleri belirlenmiştir. Sonuç olarak lamine edilen ağaç malzemelerin kendi türünü temsil eden masif ağaç malzemedenden daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Keskin, 2001).

185 ve 212 °C'de ısı ışıleme tabi tutulan karaçam (*Pinus nigra* var. *pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) örneklerde, sıcaklıkla birlikte yoğunluğun azaldığı, hacimsel çekme, hacimsel şişme ve su geçirgenlik değerlerinde memnuniyet verici sonuçların elde edildiği, ağaç malzemenin çarpılma-burulma özelliği üzerinde de ısı ışılemenin olumlu etkisinin olduğu belirtilmiştir (Altınok vd., 2010).

Isı ışıleme uygulanmış kayın odununda mekanik özelliklerin, % 5 - 40 oranında azaldığı, sıcaklığa bağlı olarak boyutsal stabilizasyonun arttığı ve renginin koyulaştığı belirtilmiştir (Bekhta ve Niemz, 2003).

Yapılan bir araştırmada çam ve göknar odunlarını ThermoWood yöntemine göre sıcak buhar koruması altında ısı ışıleme yaptıktan sonra ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri araştırmıştır. Çalışma sonunda ısı ışıleme uygulanmış ağaç malzemelerin kontrol örnekleri ile kıyaslandığında eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direncinde belli oranlarda direnç kayıplarının yaşandığını belirtirken liflere paralel basınç direncinde bir miktar artış olduğunu belirtmiştir (Şahin Kol, 2010).

Isı ışılemenin teknolojik özelliklere etkisinin belirlendiği çalışmada, Sahil çamı ve okaliptus malzemeler buhar koruması altında 190 - 210 °C'de ısı ışıleme maruz bırakıldıktan sonra, denge rutubet miktarı çam örneklerde % 46, okaliptus örneklerde ise % 61 oranında düştüğü, bununla beraber boyutsal stabilizasyonun sağlandığı ve yüzey ıslanabilirliğinin azaldığı belirtilmiştir (Esteves vd., 2007).

Lamine edilen kayını ve sarıçam odunları 4 farklı ortamda bekletildikten sonra yapışma dirençleri belirlenmiş ve kayın odununun yapışma performansının daha iyi olduğu bildirilmiştir (Atar ve Özçifçi, 2005).

Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) ağacından elde edilen deney örnekleri 120 °C, 150 °C ve 180 °C sıcaklıklarda ve 2, 6 ve 10 saat süre ile ısı ışıleme tabi tutulmuş ve fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler kontrol örnekleri ile kıyaslanarak

belirlenmiştir. Sonuç olarak ısıtma işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile mekanik dirençlerde meydana gelen direnç kayıplarında artışların olduğu, en fazla mekanik direnç düşüşlerinin 180°C sıcaklıkta ve 10 saat süre ile ısıtma işlem uygulanan örneklerde gerçekleştiği belirlenmiştir (Korkut vd., 2008).

Cam lifi kullanılarak güçlendirme yapılmış değişik şekillerdeki lamine ahşap malzemelerde meydana gelebilecek çatlaklar üzerine yoğunlaşarak köşelerdeki dayanımlar araştırılmıştır. Sonuç olarak cam lifi kullanarak yapılan güçlendirmenin çatlaklardaki gerilmeleri azaltarak, çatlakların oluşmasının önüne geçildiği belirlenmiştir (Hallstrom ve Grenstedt, 1997).

Bal (2014), yapmış olduğu çalışmada cam elyaf kumaşın kavak kaplamalardan elde edilen lamine ahşap malzemede bazı fiziksel ve mekanik özelliklere etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda güçlendirilmiş lamine ahşap malzemenin mekanik dirençlerinin normal lamine ağaç malzemelerden daha yüksek çıktığını belirtmiştir.

Ogawa (1999), güçlendirme amaçlı yaptığı çalışmada, lamine ahşap malzemelerin çeşitli bölgelerine karbon fiber takviyeli elyaf şerit yapıştırmak suretiyle veya tüm kirişi belirli aralıklarla karbon fiber elyaf kumaşla örterek güçlendirmeler yapmış mekanik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Ayrıca aynı numuneleri yakma deneyine tabi tutarak güçlendirilmiş numunelerin sıcaklık altındaki davranışlarını gözlemlemiş ve % 300'lük performans artışı tespit etmiştir.

Borri vd., (2005) yaptıkları bir çalışmada eğilme direncine maruz kalan ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesine yönelik lif takviyeli polimer (FRP) malzemelerin kullanılmasını analitik olarak araştırmışlardır. Yapılan bu çalışma müdahale düzenleri ve malzemelerin değişen yapılandırılmaları 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.

Roberto vd., (2004), tamamen zarar görmüş ahşap kolonların FRP kompozit levhalarla güçlendirilmiş elemanların yapısal olarak sınıflandırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan eğilme testleri sonucu elde edilen verilerde, FRP kompozit levhalarla % 60 oranında bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

De Lorenzis vd., (2005) Tutkallı lamine kereste elemanlarına yapıştırılan fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitlerin uygulamasının, hem güçlendirme amaçlı hem de yeni inşa için iyi bir potansiyel sağladığı belirtmiştir. Yapmış olduğu analitik ve deneysel çalışmada FRP çubuklarının epoksi ile tutkallı lamine kerestelere (glulam) yapışma performansı çekme testleri ile incelenmiştir. Test değişkenleri yapışma uzunluğu, çubukların yüzey şekilleri ve birleştirmenin boy yönüne göre ağaç lif 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.

Chen (1999), yapmış olduğu çalışmada güçlendirici malzeme olarak dokuma cam fiber malzemeler kullanmış ve ahşap birleşme yerlerinin mekanik davranışlarını incelemiştir. Bu maksatla cam fiberlerle güçlendirilmiş kavelalı ahşap birleştirmelerin mekanik performansları nümerik analizler ve mikroskop altında yapılan deneysel çalışmalar sonucu incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre güçlendirme işlemi daha yüksek performansa neden olurken ahşap birleşme yerlerine iyi bir güvenlik faktörü olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yüzeyler mikroskop altında gözlenmiş ve birleşim bölgelerinde oluşan stres yoğunluklarında ciddi bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Tsai vd., (2005), yapmış oldukları çalışmada karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının çekme dayanımlarını incelemişlerdir. CFRP-ahşap kompozitler yapmak için primer ve epoksi reçinesinin dört tutkal retensiyonu kullanılmıştır ve hızlandırılmış yaşlanma testine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak çekme mukavemetinin 0,15 - 0,25 kg/m² arasında olduğunu ve ağaç yoğunluğu ile doğru orantılı artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Peter ve Tim (1998), ahşapların yüksek performanslı birleştirme sistemleri üzerinde çalışmışlardır. Dört farklı birleştirme sisteminde boy birleştirme bölgeleri cam elyafı ile sarılarak hazırlanan numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak güçlendirilen bu numunelerde gerilme ve birim deformasyonlarda oldukça yüksek performans gözlemlenmiştir.

Bal ve Özyurt (2015), yaptıkları çalışmada üç farklı cam elyafı kullanarak güçlendirdikleri kavak kaplamalar üzerinde, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimleri kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Deney sonunda elde edilen sonuçlara göre, mekanik özelliklerde artışların olduğu belirtilirken fiziksel özelliklerde memnuniyet verici sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

Steiger (2003), ahşap yapılarında yüksek performanslı karbon fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile ahşaba yapıştırılması ve kullanılan epoksinin çekme dayanımına etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme özelliklerini tespit etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CFRP ile epoksi reçinesinin ahşaba yapışma sıcaklığının optimum değerlerinin tutkal üreticilerinin verdiği değerler ile uyumlu olduğunu bildirmiştir.

Güntekin ve Yılmaz Aydın (2015), yaptıkları araştırma makalesinde cam lifi ve çelik plaka ile takviye edilmiş kızılçam ağaç malzemelerin eğilme direnci özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla, ağaç malzemenin eğilmedeki performans değişimlerini incelemek için güçlendirme çalışmaları yapmışlardır. Elde edilen örnekler üzerinde eğilme direnci belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda cam lifi kullanılarak yapılan güçlendirme işleminin eğilme direncini % 14, çelik levha ile yapılan güçlendirme işleminin ise % 24 arttığını belirtmişlerdir.

2. AĞAÇ MALZEME

2.1. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky)

Doğu kayını, genel görünüşü bakımından kardeş tür olan Avrupa kayınına çok benzer. Hatta bazı botanikçiler tarafından onun bir formu olarak kabul edilmektedir. 30-40 m ye kadar boy, 1 m ye kadar çap yapabilen Doğu kayını, dolgun ve düzgün gövdeli I. sınıf orman ağaçlarımızdandır (Hafizoğlu vd., 1994).

Kabuğu açık kül renginde olup, ince ve düzgün yapıdadır. Genç sürgünler kırmızımsı kahverengi renktedir. Yapraklar elips veya ters yumurta biçiminde olup, kenarları tam veya hafif dalgalıdır. Yaprak uçları, sivri uzun veya kısa olup, körpe iken kenarları kirpiklidir (Hafizoğlu vd., 1994).

Daha çok yayılış itibari ile Kafkasya'da, İran'da, Bulgaristan'da ve Türkiye'de görülürken ülkemizde Karadeniz bölgesinde çokça görülür. Dağların orta ve yüksek kesimlerinde sık ormanlık şeklinde bulunurlar. Ülkemizde Marmara ve özellikle Ege yöresinde de Doğu kayını türlerine rastlanmaktadır. Ülkemizdeki orman varlığının % 8,5'ini Doğu kayını oluştururken 40-50 m. boya ulaşabilen, 1 m. kadar çap artımı yapan düzgün gövdeli bir ağaç türüdür (Anşin ve Özkan,1993).

Diri odun kısmı sert yapılı ve direnci yüksektir. Özde bulunan traheler bolca tül barındırdıkları için öz odun kısmının emprenye işlemi nispeten zordur. Buna kıyasla diri odun kısmı kolay emprenye edilmektedir. Rutubet değişimine bağlı olarak kolay çalısır ve yapısı gereği çabuk yarırlar. Ülkemizde pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır ve üst yüzey işlemlerine kolay uyum sağlarlar. Özellikle mobilya üretiminde ve daha çok tabla, ayak ve kayıtlarda çokça kullanılmakla beraber, parke, kontrplak, kaplama üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Doğu kayını odununun, doğal görünümü kırmızımsı beyazdır. Doğu kayını odunu, dağınık küçük traheli olup, küçük traheler bütün yıllık halka içerisinde dağınık durumda, özışınları kalın ve çok belirgin, radyal kesitte iri özışını levhaları, teğet kesitte iki ucu sivri iç öz çizgileri bulunmaktadır. Traheler küçük olduğu için çıplak gözle görülemez. Enine kesitte, yıllık halkanın her tarafına dağılmış durumda ve yaz odununa gidildikçe sayı ve çapları yavaş yavaş azalmaktadır. Kalın ve parlak özışınları göze çarpıcı, aralarında düzenli olmak

üzere 0,5-1 mm lik aralıklar bulunur. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunu ilkbahar odununa göre daha koyu renktedir. İki kalın öz ışını arasında yıllık halka biraz dışarıya doğru çıkık ve bombelidir (Hafizoğlu vd., 1994). Radyal kesitte özışını levhaları parlak koyu renkte ve yüzeyin yaklaşık olarak 1/10 unu kaplamaktadır (Yaltırık, 1988). Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Doğu kayını odununun fiziksel ve mekanik özellikleri (Malkoçoğlu, 1994).

Yoğunluk	Do	0,68	gr/cm ³
	D12	0,72	gr/cm ³
Elastikiyet Modülü	E-Mod	130822,2	N/mm ²
Eğilme Direnci	σ_e	112,3	N/mm ²
Çekme Direnci	$\sigma_{\varphi//}$	131,6	N/mm ²
Basınç Direnci	$\sigma_{b//}$	57,2	N/mm ²
Daralma yüzdesi	β_r	4,95	%
	β_t	11,04	%
	β_v	16,21	%

3. LAMİNASYON TEKNİĞİ

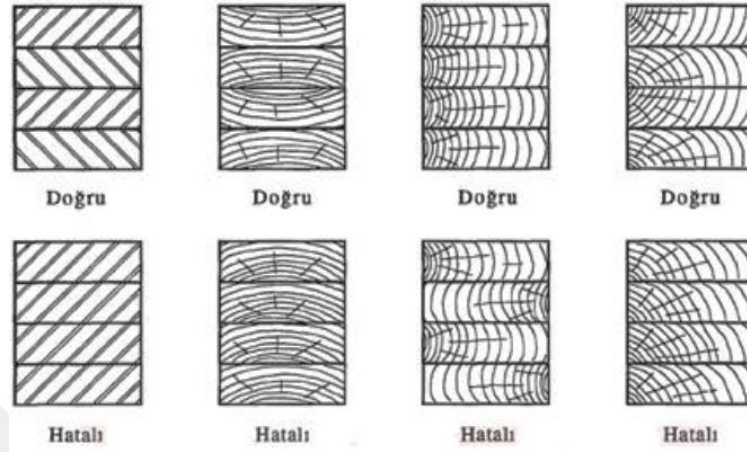
Ağaç malzemede laminasyon teknolojisi iki yada daha fazla ağaç levhanın yapıştırıcı yardımıyla üst üste yapıştırılması temeline dayanır. Lamine elemanın kullanım yerindeki direnç özelliklerinin gerekliliğine göre, lifler bir birine paralel veya dik olarak yapıştırılabilir. Kontrplak sanayisinde daha çok lifler bir birine dik gelecek şekilde düzenleme yapılmaktadır. Ağaç işleri endüstrisinde veya mobilya endüstrisinde daha çok lifler birbirine paralel olacak şekilde düzenlemeler yapılmaktadır. Ağaç malzemenin lamine edilmesinde kat kalınlıkları üretilmesi planlanan malzemenin büyüklüğüne ve şekline göre belirlenebileceği gibi kullanılacak olan ağaç malzeme türü ve nem özelliklerine göre de farklılıklar gösterebilir (Keskin, 2001)

Mobilya endüstrisinde kullanılan lamine malzemelerin kalınlıkları en fazla 3,2 mm'ye kadar olabilmektedir ve bu malzemelere Laminated Veneer Lumber (LVL) denilmektedir. İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin boyutları daha kalındır Glulam (glued laminated timber) olarak bilinir. Laminasyon teknolojisi özellikle makineleşme devriminden sonra hız kazanmış ve günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle ağaç malzeme bir çok kusurundan arındırılırken, büyük boyutlu yapı malzemelerinin üretimine de imkan sağlamaktadır. Ayrıca ağaç malzemenin verimli ve etkin kullanılmasına katkı sağlamaktadır. Lamine edilmiş ağaç malzeme masif malzemeye göre daha yüksek direnç özellikleri gösterebilirken, boyutsal stabilizasyon özellikleri bakımından daha pozitif sonuçlar vermektedir. Katların düzenlenmesinde farklı ağaç malzemelerin kullanılması veya farklı kalınlıkların tercih edilmesi hem estetik hem de ürün çeşitliliği bakımından avantajlar sunmaktadır (Stevens ve Turner, 1970; Ulupınar,1998; Şenay, 1996).

3.1. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi

Ağaç malzeme yapısal özelliklerinden dolayı tür ve cinsine göre farklı yönlerde farklı oranlarda çalışabilmektedir. Örneğin boyuna yönde bu çalışma oranı % 0,1-0,9 aralığında gerçekleşirken, yıllık halkalara teğet olarak % 3,5-15, radyal yönde ise % 2,4-11 aralığında meydana gelmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987). Bu nedenle lamine ağaç malzemelerin üretiminde sonradan farklı gerilme oranlarına bağlı olarak oluşan şekil değişikliklerinin önüne geçmek için kat düzenlemelerinde bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Lamine ağaç malzeme üretimi esnasında yıllık halka düzenlemeleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi (Keskin, 2001).

3.2. Laminasyonun Yararları

- Masif malzemeden üretilen yapı elemanlarının ebatları sınırlı iken laminasyon yönteminde daha büyük ölçekte malzeme üretilebilmektedir.
- Laminasyon işlemi için küçük ölçülerde kesilen ağaç malzemeler kolay ve daha ucuza kurutulabilirken, büyük ebatlardaki masif ağaçların kurutulması zor ve ek kurutma maliyetleri gerektirir.
- Mimarlık ve dekorasyonda çalışmalarında arzu edilen şekillerde çalışabilme olanağı sağlar.
- Lamine malzemenin üretiminde farklı kesit ölçülerine sahip ve farklı ağaç malzeme kullanılarak daha estetik bir malzemenin kullanılmasına imkan sağlar.
- Masif malzemeye göre lamine edilmiş ağaç malzeme daha fazla boyutsal kararlılığa sahiptir.
- Lamine edilmiş malzeme gerekli üretim şartlarının sağlanması durumunda kendi türünü temsil eden ağaç malzemeye göre daha fazla mekanik direnç gösterebilir (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

3.3. Laminasyonun Sakıncaları

- Masif malzeme ek bir işlem gerektirmezken lamine malzemede laminasyon için hazırlık çalışmaları ve tutkallama işlemleri maliyet arttırıcı unsurlardır.
- Lamine malzemenin mekanik direnç özellikleri yapıştırımda kullanılan tutkalın kalitesine bağlıdır. Daha kaliteli tutkal kullanımı maliyet arttırır.
- Laminasyon işlemleri için fabrika binasının özel planda yapılması, bu işlemler için ek cihazların temini ve kaliteli işçilere ihtiyaç olması yine maliyeti arttırmaktadır.
- Çok büyük boyutlu malzemelerin taşınmasında bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Keskin, 2001; Atmaca, 2005)

3.4. Laminasyonda Ağaç Malzeme Seçimi

Lamine masif ağaç malzeme üretiminde kullanılacak ağaç malzemenin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Tanenli ve reçineli odun, tutkalın yapışma gücünü azaltacağından üretilen lamine malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Laminasyon için seçilen ağaç türünün hafif olması istenir. Taşıyıcı ahşap elemanlar (kiriş, kolon vb.) büyük boyutlu olduğundan TS 3842'ye göre bu maksatla; karaçam, sarıçam, göknar ve ladin odunlarının kullanılması önerilmektedir.
- Üretimin aksamaması için seçilen ağaç türü, bol ve kolayca temin edilebilmelidir.
- Kavisli lamine ağaç malzeme üretimi için bükülebilme özelliği iyi olan ağaç türleri tercih edilmelidir (Keskin, 2001)

Genellikle farklı ağaç türleri farklı derecelerde bükülebilme özelliklerine sahiptir ve sert oduna sahip olan yapraklı ağaç türleri daha yumuşak oduna sahip olan iğneli yapraklılara sahip ağaç türlerine göre daha kolay bükülebilir. Kayın, karaağaç, dişbudak, meşe, Anadolu kestanesi, huş, akasya, akçağaç, kiraz ve fındık daha kolay bükülebilen ağaç türleri arasında yer alır (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

Lamine edilen ağaç malzemelerin mekanik dirençleri genellikle kendisini meydana getiren ağaç malzemenin yapısına bağlıdır. Yapısında değişik kusurlar (lif kıvrıklığı, çatlak, budak, mantarlaşıma vb.) barındıran odun lamine ağaç malzemenin direnç özelliklerini olumsuz

yönde etkiler. Bu nedenle ağaç malzeme, kusurlarından arındırıldıktan sonra lamine ağaç malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

Genel olarak küçük budaklar estetik görünseler de budak çapı ve sayısı arttıkça ağaç malzemenin mekanik direnç özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. TS 3842'ye göre, lamine elemanın herhangi bir kısmında ve 300 mm uzunluktaki budak alanları toplamının bu uzunluğa ait alana oranı I. sınıf için 1/10'u, II. sınıf için 1/4'ü. III. sınıf için 1/2'yi geçemez. (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

Reaksiyon odunu oluşumları lâmine ağaç malzeme özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Basınç odunu normal odundan daha ağır olup eğilme ve şok direnci düşüktür. Kurutulması sırasında kolaylıkla çarpılır ve çatlar. Çekme odunu pürüzlü ve tiftikli yüzey oluşmasına sebep olur. Çivilenmesi güç olup işlenmesi zordur. Üst yüzey işlemleri uygulanmasında problemlidir. Kurutulması sırasında sonradan düzeltilmesi mümkün olmayan hücre çökmeleri (kollaps) oluşmasına sebep olur (Bozkurt ve Göker 1987).

Çatlaklar, lamine ağaç malzemenin tutkallama ve mekanik özelliklerine olumsuz katkı yapmaktadır. Ağaç malzemenin büyümesi esnasında çeşitli çatlak oluşumları gözlenmektedir. Taze kesilen ve bu çatlaklara sahip olan ağaçlar kurumaya bırakıldığında özellikle de kurutma kusurlarının da etkisiyle bu çatlaklar artmakta ve ağaç malzemenin mekanik dirençlerinde düşüşler yaşanmaktadır (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

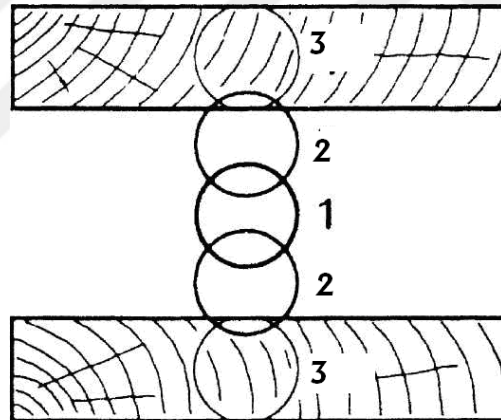
Laminasyon yöntemiyle üretilen ağaç malzemelerde kullanılan elemanların öz odunu içermesi mekanik özelliklerde düşüşler beraberinde getirmektedir. Öz odununun hücrel özellikleri diri odundan farklıdır ve dolayısı ile çalışma oranları da farklıdır. Bunun neticesinde katmanlar arası farklı oranlarda gerçekleşecek olan gerilme durumları ağaç malzemenin yapışma direncini olumsuz etkilemektedir (Keskin, 2001; Atmaca, 2005).

Mantarlar, ağaç malzemedeki renk değişikliğine ve çürümelere neden olmaktadır. Mantarların meydana getirdiği en önemli renk değişimi iğne yapraklı ağaçlarda görülen mavi renk oluşumudur. Taze kesilmiş ağaç sıcak ve rutubetli ortamda kaldığında ve tomruktan elde edilen keresteler arasına lata konulmadan istif edildiğinde, diri odun kısmında odunun derinliklerine nüfuz eden mavileşme meydana gelmektedir. Mavileşme, şok direncini % 25'e varan oranda azaltmakta, diğer mekanik özelliklerde ise önemli bir değişmeye neden olmamaktadır (Bozkurt, 1986).

Mantarlar hem dikili ağaçta hem de tomruk ve kereste hâline getirilen ağaç malzemede çürüklüğe neden olabilmektedir. Dikili ağaçlarda, mantarlaşma genelde özde meydana gelmekte, diri odunda ise çürüklüğün ileri aşamalarında görülmektedir. Bunun nedeni, yaşlanmış özde bulunan ekstraktif maddelerin koruyucu özelliğinin azalması ve diri odunun öz odundan daha fazla oranda su içermesidir (Bozkurt, 1986).

3.5. Yapışma Teorisi

Yapışma; cisimlerin kendi atom ve molekülleri arasındaki çekim gücü (kohezyon) ve birbirine tamamen çakışmış yüzeyde iki ayrı cisim moleküllerinin karşılıklı olarak birbirlerini çekim gücü (adezyon) ile bağlanmasıdır (Altınok, 1995). Tutkallar, iki malzemeyi birbirine yapıştırmada kullanılan sıvı kıvamda metalik olmayan maddelerdir. Sertleşmiş bir tutkal katmanı her biri birleştirmenin performansında önemli rol oynayan, 3 farklı halkadan meydana gelmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yapıştırıcı katmanın yapısı (Şenay, 1996).

I. halka, yapıştırılacak ağaç malzemelerden bağımsız olup yapıştırıcı filmini gösterir. Bu halkanın mukavemeti, tamamıyla yapıştırıcının yapısal özelliklerine bağlı olup, kohezyon kuvveti ile açıklanmaktadır. Her madde de olduğu gibi, tutkallarında kendi molekülleri arasında çekim kuvvetleri bulunmaktadır. Kohezyon kuvveti bir maddenin kendi molekülleri arasında oluşan çekim gücüdür (Şenay, 1996).

Tutkal çözeltisinin hazırlanması ve yüzeye sürülmesi sırasında, yani sıvı halde iken moleküllerle beraber hareketli olan kohezyon kuvveti, yapıştırıcının sertleşmesinden sonra

sabitleşir. Yapıştırıcılardan beklenen başarının sağlanabilmesi için üretimlerinde kullanılan yüksek moleküllü maddelerdeki kohezyon kuvvetleri, diğer maddelerden daha büyük olmalıdır (Altınok, 1995).

Yeterli miktarda yapıştırıcı kullanılmayan birleştirmelerde, I. halka kısmen ya da tamamen yoktur. II. halka, yapıştırıcı ve birleşimi yapılacak ağaç malzeme yüzeyleri arasında oluşturulması gereken bağı göstermektedir. Birbirine temas eden iki maddenin molekülleri arasındaki atomik çekim kuvvetine adhezyon kuvveti denir. Yapışma işleminde mekanik adhezyon ve spesifik adhezyon olmak üzere iki adhezyon kuvveti etkilidir. Akışkanlığa bağlı olarak, yapıştırıcının ağaç malzeme içerisine nüfuz edip sertleşmesiyle oluşan bağ sonucu elektrostatik kurallara bağlı atomik çekim kuvvetine spesifik adhezyon denilmektedir. Asıl yapışmayı gerçekleştiren ve yeterli direnci sağlayan spesifik adhezyondur. III. halkalar, yapıştırılacak ağaç malzemenin özelliğine bağlı olarak gelişir. Yapıştırılacak ağaç malzemenin kendi molekülleri arasında oluşan bağ, yani moleküler çekim kuvveti toplamı kohezyondur. Yapıştırıcı sürülmüş karşılıklı iki yüzeye basınç uygulandığında, tutkal girinti ve çıkıntılara doğru kendiliğinden dağılır. Tutkal her iki ağaç malzeme yüzeyine hemen hemen aynı anda transfer olur. Akış ve transfer aşamalarını tutkalın ağaç malzeme gözeneklerine nüfuz etmesi izler, nüfuz etme işlemi akışkanlık ve transfer sona erinceye kadar devam eder. Kısaca yapıştırıcı yüzeye sürüldükten ve diğer kuru yüzey ile birbirlerine kapatıldıktan sonra yapışma;

- Tutkal katmanının sürüldüğü ahşap yüzeyinden diğer kuru yüzeye transferi,
- Tutkalın her iki yüzeyi ıslatması
- Tutkalın yüzeyler ile kuvvetli mekanik ve spesifik (kimyasal) bağlar kurması şeklinde gerçekleşir (Altınok, 1995).

3.5.1. Tutkallı birleştirmelerde yapışma direnci

Tutkallı birleştirmelerin performansı üzerinde, tutkalın özellikleri yanında, yapıştırılan malzemenin yapısı, tutkal bileşimi, tutkal tabakasının nitelikleri etkili olmaktadır. Tutkallı birleştirmelerin başarısını etkileyen tutkal özelliklerinden katı madde oranı, viskozite, kül miktarı ve pH önemli sayılırken, birleştirmelerin performansını değerlendirmek için standartlara uygun test metotları kullanılır (Tank, 1995).

3.5.2. Ağaç malzemede yapışma direncini etkileyen faktörler

Ağaç malzemenin yapışma direnci birçok faktör tarafından olumlu ya da olumsuz olarak etkilenmektedir. Bunların başında en önemlisi ağaç malzemenin kendi özellikleridir. Ağaç malzemenin yapısı, yüzey düzgünlüğü, yoğunluğu, türü, rutubeti, kesit yüzeyi vb. gibi faktörler yapışma direncinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gerek hususlardır. Ağaç malzemenin yapışma yüzeyinde yıllık halka genişliğinde ilkbahar ve yaz odunu katılım oranları ile öz odun ve diri odun bölümlerinin oluşumları homojen olmamaktadır. Bu durum yapışma direncinde etkili olmaktadır. Kaliteli bir yapışmanın sağlanabilmesi için ahşap yüzeylerinin mümkün olduğu kadar birbirine yakın olması gerekir. Yüzeyleri düzgün olmayan veya dalgalı, yağlı, kirli yüzeyler yapışma mukavemetini etkiler (Chung, 1968). Yapıştırma sürecinde uygulanan basınç direnci, basınç süresi, sıcak-soğuk pres uygulamaları ile sıcaklık ve süreleri, ortamın nemi gibi durumlar laminasyon işleminde ağaç malzemenin yapışmasını etkileyen unsurlar arasındadır. İyi yüzeyin yapışmasında kullanılan basınç miktarı ne az nede fazla olmalıdır. Ayrıca basınç uygulamasının süresi doğru ayarlanmalıdır. Ağaç türüne göre pres basınçları yumuşak ağaçlarda $0,8-1 \text{ N/mm}^2$, sert ağaçlarda ise $0,2-1,6 \text{ N/mm}^2$ arasında olmalıdır (Bozkurt ve Göker, 1987). İyi bir yapışmanın sağlanabilmesi için tutkaldan kaynaklanan özelliklerinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kullanılan tutkalın türü, yoğunluğu, viskozitesi, yüzeyi ıslatabilme kabiliyeti, viskozitesi, yayılma oranı, katı madde oranı, pH değeri gibi unsurlar iyi bir yapışma direncinin oluşabilmesi için dikkate alınması gereken noktalar. Ayrıca kullanım yerinin özelliklerine göre tutkal tercih edilmesi önemlidir (Çolakoğlu, 1998).

3.6. Isıl İşlem Metodları

Ağaç malzemenin var olan özelliklerinin iyileştirilmesi için son yıllarda bilimsel çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmaların kapsamını da çevreye zararlı etkileri içermeyen yöntemlerin geliştirilmesi olmuştur. Isıl işlem bu amaçla geliştirilmiş bir odun modifikasyon yöntemidir. Bu yöntemde ağaç malzeme yüksek sıcaklıklarda ve oksijensiz bir ortamda belli sürelerde bekletilerek özellikleri iyileştirilmektedir. Günümüzde Dünya'da başarılı şekilde uygulanan ve bu konuda hayli yol kat etmiş birçok ısıl işlem yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan en bilinenleri Hollanda'da buharla birlikte sıcak havanında bir arada olduğu Plato metodu, Finlandiya'da geliştirilen buhar destekli Thermowood metodu, Fransa'da yaygın olarak kullanılan Rectification ve Bois Perdure yöntemi ve son olarak Almanya'da yaygın kullanılan ve uygulamada sıcak yağ kullanılan oil heat treatment (OHT) yöntemleridir. Daha

farklı ısı işlem uygulamaları da araştırılmaya devam etmektedir. Kullanılan bu ısı işlem metodları, düşük oksijen içeriğine sahip atmosferde 200°C'nin altında ve üstünde farklı sürelerde ısı işleme tabi tutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ısı işlem metodları, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasalların kullanımına gerek kalmadan ahşabın boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığın arttırmaktadır (Rapp, 2001; Özçifçi vd., 2009).

3.6.1. Sıcak yağ (OHT) metodu

Bu ısı işlem metodunda ağaç malzemeye sıcaklık, 180-260 °C'de inert gaz atmosferinde uygulanır (Leithoff ve Peek 2001). Günümüzde kullanılan bazı doğal yağ ve reçinenin kaynama noktası ahşabın ısı işleme tabi tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksektir. Yağların bu özelliği ağaç malzemenin sıcak yağ içerisine batırılarak bazı özelliklerinin geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. Bu yöntem temel olarak 3 safhada gerçekleşmektedir. Birinci safha, genel olarak ısıtma ve kurutma safhası olup sıcaklık 60 °C'den 160-200 °C'ye belli sürelerde çıkartılmaktadır. İkinci safhada ahşabın orta merkezinin sıcaklığı hedeflenen maksimum sıcaklığa ulaştığında asıl ısı işlem basamağı uygulanmaktadır. Üçüncü safhada ise kondüsyonlama ve soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde ısı işlem kapalı ısı işlem kazanında gerçekleştirilmektedir. Ağaç malzeme bu kazana belli yöntemlerle yerleştirildikten sonra stok tankından ısı işlem kazanına sıcak yağ akıtılmakta, ağaç malzemenin etrafında sıcak yağın dolaşması ile ısı işlem uygulanmış olmaktadır. Isı işlem uygulamasından sonra kullanılan sıcak yağ tekrar geri deposuna pompalanarak ısı işlem kazanı boşaltılmaktadır. Toplam ısı işlem uygulaması kullanılan ağaç malzemenin en kesitine, tür ve cinsine ve kullanılan yağın türüne göre 17-19 saat arasında değişebilmektedir. Her sıcaklıkta ağaç malzemenin özellikleri değiştiği esas alınmaktadır. Gerçek ısı işlem safhası bu yöntemde 2-4 saat arasında olmaktadır. Yağ ile uygulanan ısı işlem çalışmalarında daha çok şalgam tohumu yağı, keten tohumu yağı ve ayçiçeği yağı tercih edilmektedir. Bu yöntemde sıcak yağ, tüm kazanın tamamında ahşap malzemeye aynı şartlarda hızlı ve eşit ısı transferi sağlar; ayrıca yağ, odundan mükemmel bir oksijen ayrımı görevi görür (Rapp ve Sailer, 2001).

3.6.2. Plato metodu

Bu yöntemde farklı uygulama aşamaları görülmekte olup ardışık olarak birleştirilerek gerçekleştirilen bir ısı işlem metodudur. Temel olarak hidrotermoliz ve kurutma işlemlerinin barındıran bir uygulama olup yaygın olarak tercih edilmektedir. İlk aşamada yeni kesilmiş veya

kurutulmuş olan ağaç malzeme atmosferik basınç altında 160-190 °C sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlemin sonunda ağaç malzemedeki fazla suyun atılması sağlanmaktadır. Daha sonra ağaç malzeme kurutulmuş 2. aşamada oluşabilecek kusurların önlenmesi amaçlanmaktadır. Burada geleneksel olarak uygulanan kurutma işlemi tercih edilmektedir. İkinci adımda ağaç malzemeler tekrar 170-190 °C arasında ısı işleme tabi tutulmaktadır. Bu adımdan sonra soğutma ve denkleştirme safhasına geçilir. Isıl işlem süresi kullanılan ağaç türüne, kalınlığına, ahşabın formuna ve özelliklerine bağlıdır. Isıl işlem uygulamasının şartlarını belirleyen faktörler kullanılan ağaç malzemenin türü, kesit ölçüleri, hedeflenen sıcaklık ve özellikler olarak sayılabilir. Bu ısı işleminde başta uygulanan termoliz safhası 4-5 saat arasında değişirken, ikinci adımdaki kurutma safhası ağaç malzemenin özelliklerine bağlı olarak 3-5 gün sürebilmektedir. Daha sonra gerçekleştirilen bakım adımı veya kurutma adımı ise 14-16 saat arasında gerçekleşirken en son adım olan kondisyonlama safhası 2-3 gün arasında değişmektedir (Militz ve Tjeerdsma, 2000).

3.6.3. Retification metodu (Retified Wood)

Fransa'da Retification ve Bois Perdure yöntemi adı altında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Retification metodu, Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. Ahşap önce % 12 rutubete kadar kurutulmakta daha sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında ısı işleme tabi tutulmaktadır. Isıl işlem sıcaklığı 210-240 °C'dir. Bu yöntem 1997 yılında endüstriyel bir pazar kazanmıştır.

Le Bois Perdure yöntemi ise; BCI-MBS şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta taze haldeki keresteler ısı işleme tabi tutulabilmektedir. Öncelikli olarak ahşap kurutulmakta daha sonra doymuş su buharı atmosferi altında 230 °C'de asıl ısı işlem safhası gerçekleştirilmektedir. Retification ve Bois Perdure metodunun ikisinde de ısı işlem sıcaklığı 230-240 °C arasında olursa ahşabın biyolojik dayanıklılığı artmakta fakat direnç özellikleri azalmaktadır (Esteves ve Pereira, 2009; Waldemar ve André 2004).

3.6.4. Thermo wood metodu

Finlandiya'da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland=Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)) tarafından geliştirilmiş bir metot olup Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır. Bu

yöntemde ahşap malzemeler 180-250 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında ısıtılmaktadır (Militz, 2002; Rapp, 2001).

Bu yöntem üç aşamada gerçekleştirilir.

1. Aşama; Yüksek ısıda kurutma periyodu

Isıl işlem uygulamasında en fazla zaman alan periyottur. Bu periyot ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma periyodunun başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlakların olmaması önemlidir. Sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C' ye çıkarılır, daha sonra yavaş yavaş 130 °C'ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ahşapta çatlakları önlemek için, ahşabı ön koruma amaçlı olarak ortama su buharı tatbik edilir. Nem miktarı hemen hemen sifıra indirilir (Mayes ve Oksanen, 2002).

2. Aşama; Thermo Wood periyodu

Bu aşama yoğun ısıtma işlemi olarak adlandırılır. Son kullanım amacına göre fırın içindeki sıcaklık 185-230 °C' ye kadar arttırılır. Önceden belirlenen hedef sıcaklığına ulaşıldığında, fırın sıcaklığı bu sıcaklıkta sabit tutulur. Bu periyot ortalama olarak 2-3 saat sürmektedir. Yanmasını engellemekte kullanılan gaz veya su buharı hem odunun korunmasında hemde odunda gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır (Mayes ve Oksanen, 2002).

3. Aşama; Soğutma ve kondüsyonlama periyodu

Son bölümde de su spreyi veya buharı ile ahşabın sıcaklığı 50-60 °C' ye kadar düşürülür. Yeniden rutubetlendirme ve kondüsyonlama işlemi ile odun rutubeti %4 seviyesine getirilir. Isıl işlem sıcaklığı yükseltildiğinde veya düşürüldüğünde küçük iç ve yüzey çatlaklarının oluşumunun önüne geçmek için özel bir uyum yolu kullanılır. Bu durum farklı ağaç malzemeler için ve farklı ebatlar için değişiklik gösterebilir. Isıl işlem uygulanacak olan ağaç malzeme hava kurusu veya yeni kesilmiş olabilir. Eğer ısı işlem yeni kesilmiş ağaçla yapılacaksa yüksek sıcaklıkta kurutma metodu uygulanabilir. Bu yöntem iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türleri içinde başarılı biçimde uygulanabilir. Kondüsyonlamadan sonra odunun nem içeriği % 5-7 olmalıdır. Muamele sıcaklığına ve keresteye bağlı olarak kondüsyonlama 2-5 saat arasında yapılabilir (Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002).

3.7. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

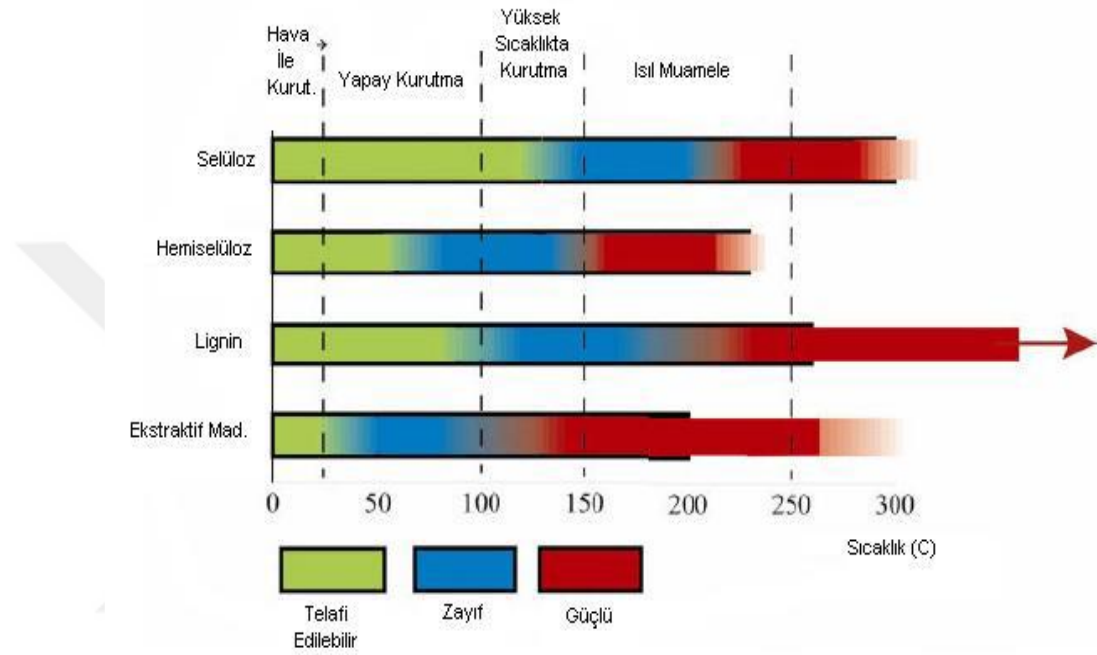
Ağaç malzeme, selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerden (hücre çeperine ve hücre lümenlerine yerleşmiş, tanenler, uçucu yağlar, reçineler, nişasta, boyar maddeler gibi organik ve inorganik maddeler) oluşur. Polisakkaritlerden olan selüloz ve hemiselüloz holoselüloz adını alır. Her ağaç türünde hatta aynı ağaç türünde bile ağaç malzemeyi oluşturan bu bileşenler farklı derecededirler. Bu nedenle her ağaç türünün de özellikleri de birbirinden farklıdır. Isıl işleme bağlı olarak ağaç malzemenin yapısı ve bileşenleri termal bozulmaya uğrar. Isıl işlemin alt basamağı 100 °C olarak kabul edilmektedir. Bundan sonra ağaç malzeme bileşenleri sıcaklığın artmasıyla bozulmaya başlar. Bu arada ağaç malzemedeki suyun etkisiyle odun yapısında meydana gelen şişme ve büzüşme oranlarında bir azalma, biyolojik dirençte artmalar, ısıya bağlı olarak rengin giderek koyulaşması, odun bileşenlerinden bazıları uzaklaşması ile birlikte mekanik dirençlerde azalmalar olmaktadır. Isıl işlemde en önemli etken sıcaklıktır (Viitanen vd., 1994). Isıl işlem uygulamalarında sıcaklığın 200 °C ve daha yüksekliklerde uygulanması yapısal hasarlara neden olurken odun bileşenlerinden başta hemiselüloz olmak üzere selüloz ve lignin gibi maddeler yıkımlanır. Sıcaklığın yükselmesi ile ağaç malzeme yapısındaki bileşenler sıcaklığın etkisiyle tamamen bozulmaktadır (Fengel ve Wegener, 1984).

Uygulanan termal işlem esnasında ağaç malzemedeki meydana gelen değişimlerin aşağıdaki faktörlerle yakından ilgilidir.

- Uygulanan termal işlemin en yüksek sıcaklığına ve maksimum süreye,
- Isıl işlemde uygulanan tüm sıcaklık seviyelerine,
- Isıl işlem uygulamasına ait toplam ısı işlem süresine,
- Isıl işlem esnasında kullanılan su buharına ve miktarına
- Gerçek ısı işlem safhasından önce uygulanan kurutma işlemine,
- Ağaç türüne ve ağacın tüm karakteristik özelliklerine bağlıdır (Syrjanen ve Oy, 2001).

Ağaç malzemenin ısıtılması ile birlikte özellikle kimyasal yapısında ani değişimler oluşmakta ve bu değişimlerin şiddetinin belirlenmesinde bir takım güçlükler meydana gelmektedir. Ağaç malzeme yapısal karakteristiklerinden dolayı kompleks bir yapıya sahiptir. Isıl işlem uygulamalarının ağaç malzemeye etkilerinin tümünü tam olarak anlayabilmek için bu kimyasal bileşenlerin temel özelliklerini iyi tanımak gerekir. (Korkut ve Kocaefe, 2009). Çünkü

yapısında bulunan kimyasal maddeler ısı etkisiyle bir taraftan değişime uğrarken diğer taraftan yeni bir yapı kazanarak endotermik ve ekzotermik tepkiler meydana gelmektedir (Johansson, 2008). Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısı işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Ağaç malzemenin ana bileşiklerinde ısı işlem ve yüksek sıcaklık uygulamasından dolayı meydana gelen değişimler (Aydemir, 2007).

Selüloz ($C_6H_{10}O_5$), geniş ve iğne yapraklılarda odunun tam kuru ağırlığına oranla hücre duvarının yaklaşık yarısını (% 50) oluşturan büyük yapısal bileşenlerden biridir. Selüloz yapılar ısı karşısında hemiselülozlara göre daha kararlı yapıdadırlar. Bir diğer ifadeyle ısı işlem uygulamalarında artan sıcaklığın bozunduruca etkisine hemiselülozlarla kıyaslandığında daha dayanıklıdırlar ve daha düzenli kristalimsi yapıya sahiptirler. Ayrıca ısı işlem uygulamaları ağaç malzemenin selüloz kristallerinin artmasına katkı sağlamaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993).

Selülozların bozunması hemiselülozlarla kıyaslandığında daha yüksek sıcaklıklarda başlamaktadır. Yapılan ısı işlem uygulamalarında selüloz yapıların karakteristik özelliklerinden dolayı ısı karşısındaki davranışları hemiselülozlardan farklıdır. Selülozlar hemiselülozlara göre

yüksek sıcaklıklarda daha az degrade olma özelliğine sahip yapılarıdır. Isıl işlem uygulamalarında selülozların kristallenme dereceleri artmakta ve bunun neticesinde selüloz zincirlerinin kararlılığı da yükselmektedir. 250 °C'nin altında uygulanan uygulamalarında, selüloz yapısının özellikle su buharı, karbondioksit gibi ortamlarda daha az seviyelerde bozunmaya uğradığı belirlenmiş, bununla beraber 200 °C'de vakum ortamında ısıl işleme maruz bırakılan ağaç malzemenin selüloz kristalitlerinin artışı görülmüştür (Shafizadeh ve Bradbury, 1979; Roffael ve Schaller, 1971; Hill, 2006).

Ağaç malzemenin hemiselüloz yapıları ağacın kuru ağırlığının % 20-35'ini oluşturan ve ısıl işleme birlikte diğer ana bileşenlere göre daha fazla degrade olabilen, farklı 5 adet nötr halde sentezlenmiş heksoz (glikoz, mannoz, galaktoz) ve pentos (ksiloz ve arabinoz) şeklindeki polisakkaritlerden meydana gelmiş yapılarıdır. Ayrıca geniş yapraklılar iğne yapraklılardan daha fazla hemiselüloz içermektedir (Rowel, 1984; Fengel ve Wegener, 1984; Korkut ve Kocaefe, 2009; Sjöström, 1993).

Hemiselülozların yapısında ısıl işleme birlikte önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Isıl işleme en dayanıksız temel bileşendir. Bozunması düşük sıcaklıklarda başlar ve sıcaklık yükseldikçe yapısında telafi edilemeyen veya geri döndürülemeyen değişiklikler görülür. Ağaç malzemenin termal bozulmasının ilk aşaması süresince hemiselülozlardan daha az higroskop olan furfural polimerleri hemiselülozun parçalanmasıyla oluşurlar. Bu sıcaklıklarda hemiselülozun kaybıyla holoselüloz içeriği düşer. Çünkü selüloz içeriği 150 °C ve üzerinde değişmeden kalabilir. Ağaç malzemedeki ksilan en reaktif hemiselülozdur ve çoğunlukla bozulmalara karşı çok hassastır. Yayvan yapraklı ağaçlarda selülozdan sonra buharlaşırlar ve bozunma ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Ağaç malzemedeki ısı etkisiyle buharlaşan furfural ve asetaldehidtir. Hemiselülozların ağaç malzemedeki uzaklaşması odun örneklerinin kristalizasyonu üzerinde bir artışa neden olmaktadır (Bourgeois vd., 1989). Hemiselüloz yapıları yapısında meydana gelen kimyasal değişimlerin neticesinde ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunda ve denge rutubetinin düşürülmesinde önemli derecede rol oynayan kimyasal bileşiklerdir (Boonstra, 2008).

Lignin, ağaç malzemedeki üçüncü büyük ana bileşen olan ve % 15-30 oranında bulunan kompleks amorf bir polimerdir. Hücre duvarının gelişimi boyunca en son gelişimi tamamlayan, hücre duvarının dayanımını artıran ve basma direncini geliştiren bir yapıdır. Isıl işlemler sırasında lignindeki fenilpropan birimlerinin arasındaki bağların bir kısmı zayıflayarak

kopmaktadır. Lignin yapı itibari ile diğer bileşenlere göre termal bozunmaya karşı en dayanıklı ana bileşen olarak kabul edilmektedir. Sıcaklığın 200 °C'yi aştığı durumlarda bozunmaya uğrayarak önce beta-aril eter bağları parçalanmaktadır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan ağaç malzemelerde görülen renk değişimlerinin temelinde lignin yapılarında meydana gelen değişimlerden kaynaklanmaktadır. Ekstraktif maddelerin çoğu ısıtılma işlemi esnasında ağaç malzemeden buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Buharlaşan bu maddelerden dolayı ağaç malzemede önemli kayıplar yaşanmaktadır. Bunun sonucunda da ağaç malzemede yoğunluk düşmekte ve mekanik dirençlerde de yoğunluğa bağlı olarak bir düşüş göze çarpmaktadır (Fengel ve Wegener, 1984; Kortelainen vd., 2006; Kamdem vd., 2002; Garrote vd., 1999).

Ekstraktif maddeler ağaç malzemenin hücre çeperinin esas bileşikleri dışında hücre çeperi yada lümenine yerleşen organik ve inorganik (karbonhidratlar, tanenler, reçineler, nişasta ve yağlar, sepi maddeleri, fenollü ve boyalı maddeler vb.) maddelerdir. Bu maddeler büyük oranda sıcak ve soğuk su ortamında, alkol, benzen, aseton veya eter gibi kimyasallarla çözünebilmektedir. Isıl işlemle birlikte ağaç malzemeden uzaklaşır veya degrade olurlar. Isıl işlemle ağaç malzemenin renginin koyulaşmasından hemiselülozlar ve ekstraktif maddeler sorumludur (Nuopponen, 2005).

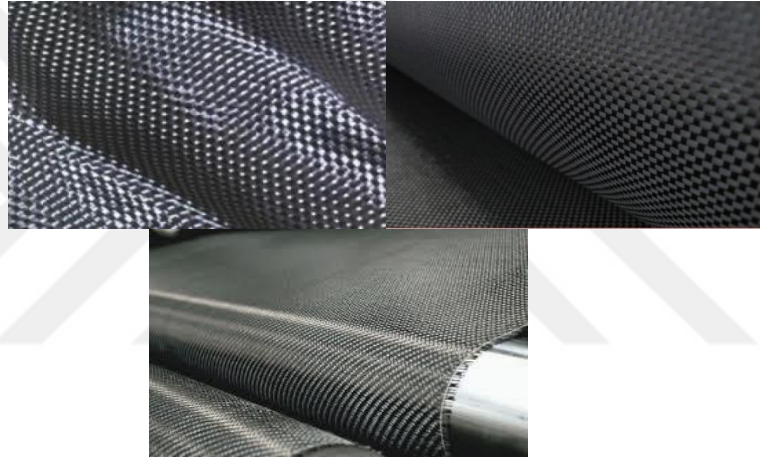
Ağaç malzemede bulunan ana bileşenlerin toplam etkileşimi, ağaç malzemenin genel karakteristik özelliklerini belirleyen ana unsurlardandır. Isıl işlem uygulamaları her bir ağaç türünde bu ana bileşenleri farklı oranlarda etkilemektedir. Dolayısı ile her bir ağaç malzeme türünün ısıl işleme verdiği tepkiler farklı olmaktadır. Isıl işlem uygulamalarında oluşan bu tepkiler, ısıl işlem uygulanmış ağaçların teknolojik yapılarında da önemli derecede etkili olmaktadır (Yıldız, 2002).

3.8. Karbon Fiber Elyafı (CFRP)

Karbon elyaf kumaşlar birçok sektörde yaygın olarak kullanılan ve çok ince karbon elementlerinin bir araya getirilmesiyle oluşmuş mühendislik ürünleridir. Temel oluşumunda karbonlaşmış akrilik elyaf, katran ve naylon malzemeler bulunmaktadır. Fiziksel yapıları ince olmasına rağmen güçlü gerilme mukavemetlerine sahiptirler. Cam elyaf kumaşlarla karşılaştırıldığında daha güçlü elastikiyet modülüne ve yorulma mukavemetlerine sahip yapılarıdır ve daha fazla kullanım potansiyeline sahiptir (Huang, 2009; De Lorenzis vd., 2005). Karbon elyaf kumaşlar veya güçlendirilmiş karbon esaslı malzemeler uçak ve uzay araçlarının bazı parçalarının üretimden araba parçalarına kadar, bisiklet ve yarış arabalarının gövdelerinde,

tekne ve bot imalatlarında, golf sopalarında ve birçok yüksek direnç ve mukavemet gerektiren bazı gereçlerin yapımında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir.

Karbon kumaşlar epoksi reçineleriyle yaygın olarak kullanılırken yüksek dirence sahip olurlar ve daha fazla dayanıklı hale gelirler. Günümüzde gelişen teknoloji ve değişerek artan ihtiyaçlardan dolayı karbon esaslı kumaşların çeşitliliği ve kullanım alanı sürekli bir değişim içerisinde. Yüksek mukavemet özelliklerine sahip olan ve kullanım alanı sürekli artan bu malzemenin dezavantajlarından birisi fiyatının yüksek olmasıdır. Bunun neticesinde üretim maliyetinin olumsuz etkilemektedir (Huang, 2009; De Lorenzis vd., 2005). Bazı karbon elyaf kumaş örnekleri Şekil 3.4’ te verilmiştir.

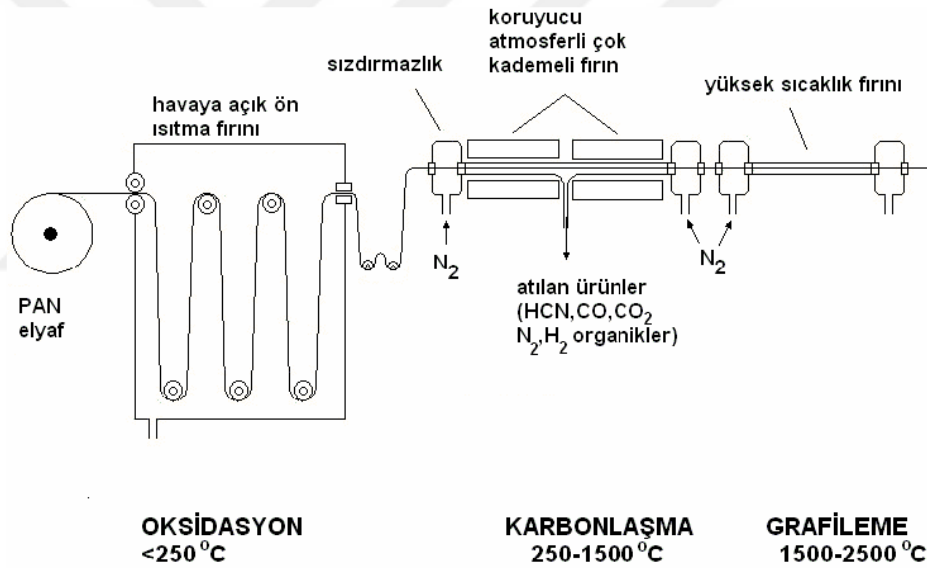


Şekil 3.4. Karbon elyafı örnekleri (www.kompozit.net 10.05.2017).

Çizelge 3.1. Karbon fiber (CFRP) malzemesinin bazı mekanik özellikleri (Özdemir, 2005).

Özellikler	Miktar	Birimi
Birim Ağırlık	0,30	Kg/mm ²
Etkili Kalınlık	0,17	mm
Çekme Dayanımı	3,43	Mpa
Elastikiyet Modülü	230,05	Mpa
Gerilme Dayanımı	0,02	mm/mm

Karbon lifleri metal malzemelerle kıyaslandığında düşük özgül ağırlıklara sahiptirler. Çelik malzemeye kıyaslandığında ise direnç özellikleri daha yüksektir. Lif takviyeli kompozitlerde kullanılmakta olan karbon esaslı lifler düşük yoğunluktaki hafif reçineleri takviyelemek için kullanılmaktadır. Bu süreçte daha çok epoksiler kullanılmakla beraber polyester reçinelerde yaygın olarak tercih edilir. Karbon lifinin güçlendirici amaçlı kullanılmasının sebeplerinden biriside grafit kristallerinin yapısal özelliklerindedir. Karbon grafit kristalleri altıgen hegzagonal şeklindedir ve birbirine kovalent bağ ile bağlıdır. Katların bağlanması ise VanderWaals bağları iledir. Grafit kristallerinin anizotropik yapısının bir özelliği sonucu kat yapılarının lif uzunluğu yönünde gelmesi arzu edilir. Bu halde yapılan bir düzenleme yüksek elastikiyet modülüne sahip karbon lifleri imal etmede gerekmektedir. Karbon fiber üretim aşamaları Şekil 3.5'te verilmiştir (Kılıç, 2006).

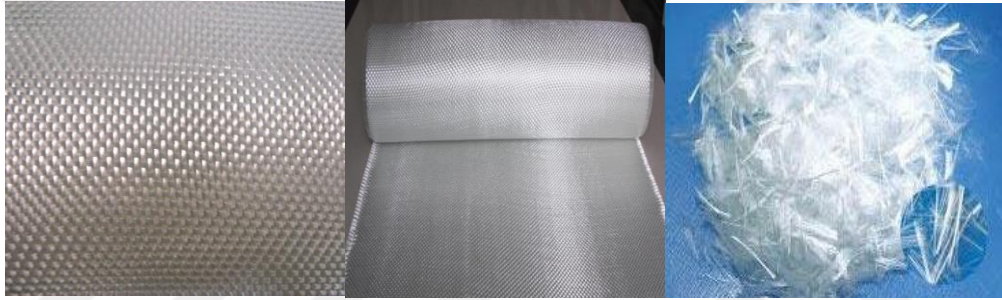


Şekil 3.5. Karbon fiber elyafı üretim aşamaları (Kılıç, 2006).

3.9. Cam Fiber Elyafı (GFRP)

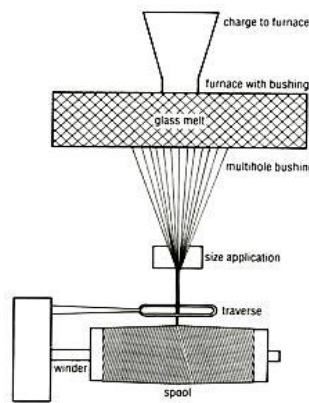
Günümüzde cam elyaf türleri yapılarına göre sınıflandırıldığında fitiller, cam elyaf ipleri, cam elyaf kumaşlar, cam elyafın kırılmış halleri ve cam elyafın öğütülmüş halleri olarak bulunmaktadır. Cam elyafın çekme direnci yüksek fakat ısı direnci düşüktür. Düşük sıcaklıklarda yanmazlarken sıcaklık arttıkça yumuşama özelliği gösterirler. Elektrik iletme özellikleri yoktur. Bu yönüyle elektrik yalıtımlarının yapılmasının önem kazandığı uygulama

yerlerinde cam elyaf kumaşlar kullanılmaktadır. Birçok sektörde güçlendirilmiş kompozit malzemelerin kullanım alanı giderek artmaktadır. Özellikle havacılık sektöründe, otomobil sektöründe ve denizcilik alanlarında cam elyaf esaslı kompozitlerin kullanımı artarak devam etmektedir. Günümüzde en fazla kullanım alanı olan malzemelerden birisidir. Bununla beraber karbon esaslı malzemelerin kullanımı da oldukça fazladır. Cam elyaf kumaşlar karbon kumaşlarla karşılaştırıldığında daha uzun maliyetlidirler. Fakat karbon esaslı kumaşların mukavemet özellikleri cam elyaflardan daha yüksektir. Değişen teknoloji ve sürekli artan değişik fonksiyonlardaki malzeme ihtiyacını karşılamak için cam elyaf esaslı malzemelerin kullanım alanı ve üretim şekilleri sürekli artan bir eğilim göstermektedir (Ünal, 2010; Sözer, 2003; Gülnar, 2016). Cam fiber elyaf örnekleri Şekil 3.6’ da verilmiştir.



Şekil 3.6. Cam fiber elyaf örnekleri (www.kompozit.net 10.05.2017).

Cam elyafı üretim yöntemlerinden bir tanesi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Cam elyafı üretimi (Mıstak, 2013).

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Ahşap Malzeme

Bu çalışmada lamine ağaç malzemenin hazırlanmasında ağaç işleri endüstrisinde fazla miktarda kullanılmakta olan Doğu kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky) tercih edilmiştir. Denemelerde kullanılan ağaç malzemeler hava kurusu halde Bursa-İnegöl'de faaliyet gösteren bir işletmeden rastgele seçim yöntemiyle satın alınarak temin edilmiştir. Ağaç malzemeler temin edilirken ardaksız, budaksız, reçinesiz, büyüme kusuru içermeyen, sağlam, düzgün liflere sahip ayrıca dış kabuğa yakın olan diri odun kısmından seçilmeye özen gösterilmiştir.

4.2. Tutkal

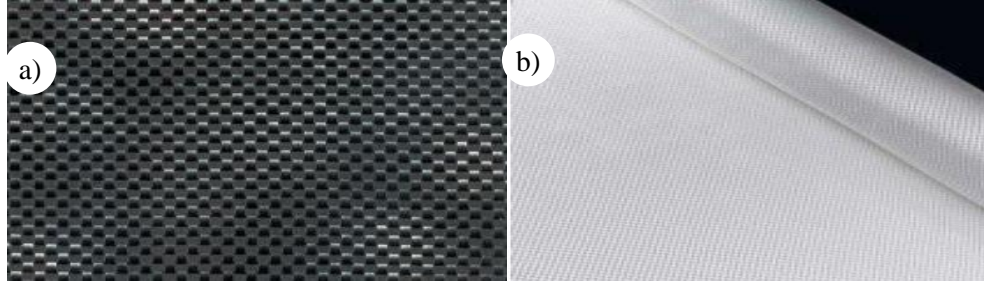
Çalışmada, 4 katmanlı örneklerin üretiminde, tutkal olarak fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılmıştır. FF tutkalı iç ve dış mekanlarda kullanıma uygun olan bir tutkal türü olmakla beraber kontrplak ve yonga levha üretiminde de kullanılmaktadır (Pizzi, 2002). Tutkal, Gentaş Kimya San. AŞ. firmasından temin edilmiş olup, özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tutkal özellikleri.

Yoğunluk (g/cm ³)	pH (20 °C)	Viskozite (20 °C) (cPs)	Katı madde miktarı (%)	Uygulama miktarı (g/m ²)	Katılma zamanı (130 °C)
1,12	8,4-8,8	350-450	47±1	180-200	6-7 min

4.3. Fiber Kumaşlar

Bu çalışmada güçlendirici malzeme olarak kullanılan cam ve karbon elyaf kumaşlar İstanbul'da faaliyet gösteren Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan cam fiber ve karbon fiber kumaşlar Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Fiber kumaşlar, a) Karbon fiber b) Cam fiber (www.kompozit.net 10.05.2017).

4.4. Isıl İşlem

Ağaç malzemeler öncelikle 50 x 105 x 460 mm ebatlarında (kalınlık, genişlik ve uzunluk) radyal ve teğet kesitleri içerecek şekilde kesilerek ısıl işlem öncesi uygun bir yerde istiflenmiştir. Kesme işlemi TS 2470 (1976) esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılacak parçalar, iklimlendirme cihazına konularak (20 (±2) °C sıcaklıkta ve % 65±5 bağıl nem altında % 12 denge rutubetine gelmesi sağlanmıştır. İklimlendirme cihazında bekletilen ağaç malzemelere 150 °C, 175 °C, ve 200 °C sıcaklıklarda 3 saat süre ile ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem ±1 °C hassasiyete sahip elle ayarlanabilen bir laboratuvar tipi fırında normal atmosfer şartlarında uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanan örnekler daha sonra 5 x 100 x 450 mm ebatlarında net ölçüye getirilerek iklimlendirme cihazına (20 (±2) °C sıcaklık ve % 65 ±5 bağıl nem şartlarında) bırakılmıştır. Burada denge rutubetine gelen örnekler daha sonra ayrı ayrı istiflenerek laminasyon işlemine geçilmiştir.

4.4.1. Laminasyon işlemi

Laminasyon işlemine başlamadan önce gerekli ölçülerde ve miktarda karbon ve cam elyaf kesilmiş ve tutkal ile birlikte hazır hale getirilmiştir. Kumaşların hazırlanması Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Net ölçüye getirilen ağaç kaplamaların bir yüzüne ve fiber kumaşların her iki yüzüne de fenol formaldehit tutkalı tutkal sürme aparatı ve fırça yardımıyla sürülmüştür. Tutkal kaplamaların yüzeylerine yaklaşık olarak 200 gr/m² ve kumaşların yüzeylerine kumaşın yüzey karakteristiğinden dolayı yaklaşık olarak 300 gr/m² hesabıyla tatbik edilmiştir. Presleme işleminde pres sıcaklığı 135 °C, pres süresi 30 dakika ve pres basıncı ise 8 kg/cm² olarak ayarlanmıştır. Presleme işlemi Şekil 4.3'te görülmektedir. Her bir gruptan ayrı ayrı yeteri kadar üretilen lamine levhalar presleme işleminden sonra 15 gün süre uygun bir yerde istiflenmiştir.



Şekil 4.2. Kumaşların hazırlanması.



Şekil 4.3. Pres işlemi.

4.4.2. Deney örneklerinin hazırlanması

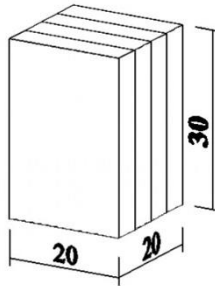
Dört katlı olarak ısıtılmış ve uygulanmamış kayın kaplamalardan karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş lamine levhalar bekleme süresi sonunda yerlerinden alınarak deney örneklerinin hazırlanmasına geçilmiştir. Öncelikle lamine levhaların birer kenarları yüksek devirli plana makinesinde düzeltildikten sonra hava kurusu yoğunluk numuneleri TS 2472 (1976) standardına göre, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü numuneleri TS 2474 (1976) ve TS 2478 (1976) standartlarına göre, liflere paralel basınç direnci numuneleri TS

2595 (1997) standardına göre, yapışma direnci numuneleri BS EN 205 (1991) esaslarına göre ve son olarak ta hacimsel şişme tayini için TS 4084 (1984) ve TS 4086 (1983) esaslarına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır.

4.5. Metod

4.5.1. Yoğunluk

Yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde her bir kombinasyon için 10 adet test ve 10 adet kontrol olmak üzere, 20 x 20 x 30 mm boyutlarında hazırlanan test ve kontrol örneklerinin yoğunluk tayini TS 2471 ve TS 2472 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4). Hazırlanan deney örnekleri, yaklaşık % 12 rutubete getirilmeleri için iklimlendirme cihazında 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve % 65 ± 5 bağıl nemde tutulmuştur. Daha sonra yaklaşık olarak % 12 rutubete gelen örneklerin boyutları, 0,01 mm duyarlılıkta dijital kumpasla ve ağırlıkları 0,001 g duyarlılık ta hassas terazide belirlenerek hava kurusu yoğunluk (δ_{12}) formül 4.1' e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Yoğunluk değeri deney örneği.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

δ_{12} : % 12 rutubetteki yoğunluk değeri (g/cm³)

M_{12} : % 12 rutubetteki ağırlık (g)

V_{12} : % 12 rutubetteki hacim (cm³)

4.5.2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü için TS 2474 (1976) esasına göre deney örnekleri hazırlanmıştır. Bu maksatla her bir deney grubu için 20 x 20 x 360 mm boyutlarında 10' ar adet kontrol ve deney örneği hazırlanmıştır (Şekil 4.5). Yükleme hızı bilgisayar ile ayarlanabilmektedir. Deneylerde makinen ilerleme hızı 2 mm/dk olarak sabitlenmiştir. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0,001 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilerek eğilme direnci formül 4.2'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_e = \frac{3F_{max}.L_s}{2.a.h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.2)$$

Burada;

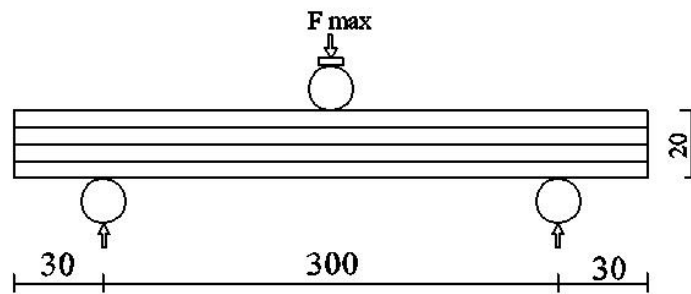
δ_e : Eğilme direnci (N/mm²)

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L_s : Dayanak açıklığı (mm)

a : Örnek genişliği (mm)

h : Örnek kalınlığı (mm)



Şekil 4.5. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deney örneği.

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde TS 2478 (1976) esaslarına uyularak eğilme direncinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Buna göre eğilmede elastikiyet

modülü, elastikiyet deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) için örnekteki eğilme miktarları farkı (Δf) yardımı ile formül 4.3' e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_{em} = \frac{\Delta F \cdot L_s^3}{4 \cdot a \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4.3)$$

Burada;

δ_{em} :Elastikiyet modülü (N/mm²)

ΔF : Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı (N)

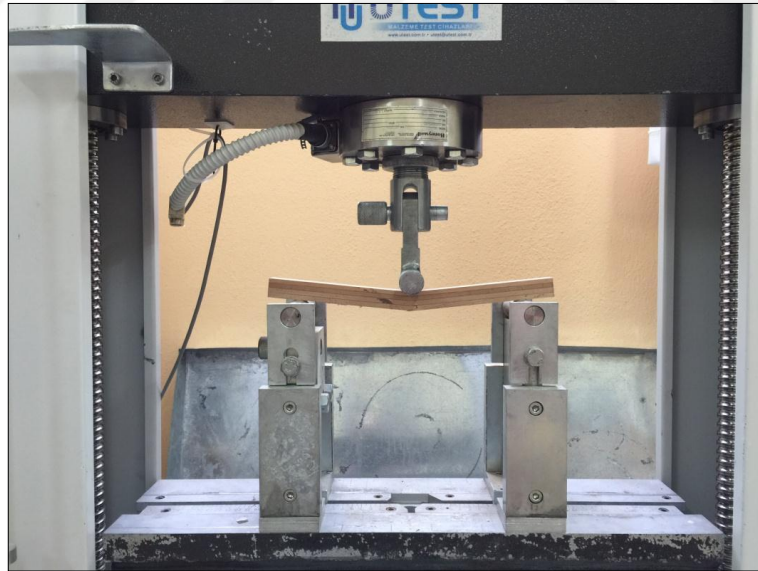
L_s : Dayanak açıklığı (mm)

a : Örnek genişliği (mm)

h : Örnek yüksekliği (mm)

Δf : Eğilme miktarı (mm)

Eğilme direncine ait bir görünüm Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Eğilme direncinin yapılışı.

Liflere paralel basınç direnci

Liflere paralel basınç direnci TS 2595' e (1975) uygun olarak yapılmıştır. Bu maksatla her bir deney grubundan 20 x 20 x 30 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği hazırlanmıştır (Şekil 4.7). Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri 0,001 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda, kırılma anındaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilerek liflere paralel basınç direnci (δ_b) formül 4.4'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_b = \frac{F_{max}}{a.h} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.4)$$

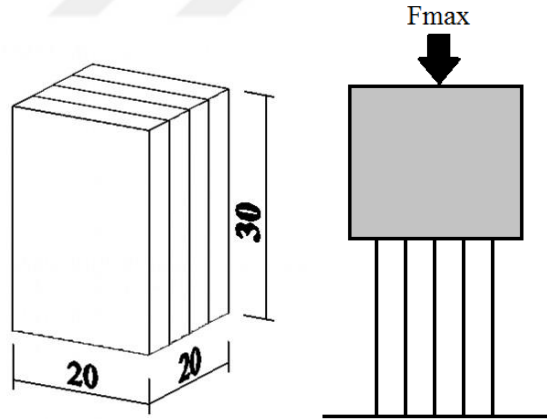
Burada;

δ_b : Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

a : Deney parçasının genişliği (mm)

h : Deney parçasının kalınlığı (mm)



Şekil 4.7. Liflere paralel basınç direnci deney örneği.

Yapışma direnci

Yapışma direnci BS EN 204 (1991) esasına göre yapılmıştır. Bu maksatla lamine edilmiş ağaç malzemelerden 20 x 150 x 20 mm ebatlarında 10'ar adet kontrol ve deney örneği

hazırlanmıştır (Şekil 4.8). Deney örneklerine üniversal test cihazında katman yüzeyine paralel 2 mm/dk yükleme hızıyla, çekme kuvveti uygulanmıştır. Deneyde çekme kuvveti, tutkal hattında ve fiber kumaşlarda kopmanın tamamen gerçekleşmesi sağlanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Kopma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden tespit edilerek yapışma direnci (δ_y) formül 4.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_y = \frac{F_{max}}{a.b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.5)$$

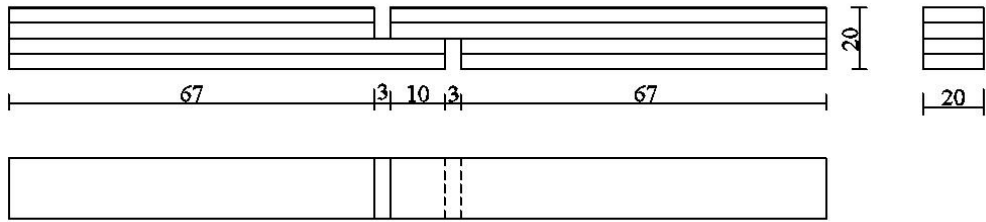
Burada;

δ_y :Yapışma direnci (N/mm²)

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

a : Yapışma yüzey genişliği (mm).

b : Yapışma yüzey uzunluğu (mm).



Şekil 4.8. Yapışma direnci deney örneği.

Hacimsel şişme

Hacimsel şişme oranlarının belirlenmesinde TS 4084 (1984) ve TS 4086 (1983) esaslarına uyulmuştur. Bu maksatla 30 x 30 x 20 mm ebatlarında her bir deney grubu için 10' ar adet numune hazırlanmıştır (Şekil 4.9). Hazırlanan örnekler 103±2 °C' de değişmez ağırlığa gelinceye kadar tutulmuştur. Bu aşamada ebatları 0,001 duyarlılıkta dijital kumpasla belirlenerek kayıt altına alınmıştır. Bu işlemden sonra örnekler, plastik kova içerisine üzerlerine ağırlıklar konularak suya tamamen batmaları sağlanmıştır. Bu şekildeki örnekler boyutları değişmez hale gelene kadar bekletilerek son ölçümleri yapılmış hacimsel şişme oranları (δ_H) formül 4.6' ya göre belirlenmiştir.

$$\delta_H = \frac{(L_{t_{max}} \cdot L_{r_{max}} \cdot L_{a_{max}}) - (L_{t_{min}} \cdot L_{r_{min}} \cdot L_{a_{min}})}{(L_{t_{min}} \cdot L_{r_{min}} \cdot L_{a_{min}})} \times 100 \quad (4.6)$$

Burada;

δ_H : Hacimsel şişme (%)

$L_{t_{max}}$: Lif doygunluğu noktasında teğet yöndeki ölçü (mm)

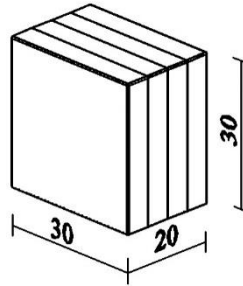
$L_{r_{max}}$: Lif doygunluğu noktasında radyal yöndeki ölçü (mm)

$L_{a_{max}}$: Lif doygunluğu noktasında liflere paralel yöndeki ölçü (mm)

$L_{t_{min}}$: Tam kuru halde teğet yöndeki ölçü (mm)

$L_{r_{min}}$: Tam kuru halde radyal yöndeki ölçü (mm)

$L_{a_{min}}$: Tam kuru halde liflere paralel yöndeki ölçü (mm)



Şekil 4.9. Hacimsel şişme deney örneği.

Verilerin istatistiksel değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda örneklere ait verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için MSTAT-C paket programı kullanılmıştır. Deney sonuçları ile ilgili faktörlerin elde edilen test sonuçları üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizi uygulanmıştır. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde Duncan testi yapılmıştır.

5. BULGULAR

5.1. Yoğunluk

Isıl işlem uygulandıktan sonra güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş lamine ağaç malzemenin hava kurusu yoğunluklarına ait istatistik değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Hava kurusu yoğunluk değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (g/cm ³)	Max (g/cm ³)	X _{ort} (g/cm ³)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	0,699	0,727	0,711	0,00996
	Cam fiber	10	0,714	0,765	0,742	0,01436
	Karbon fiber	10	0,722	0,757	0,736	0,01026
150 °C	Takviyesiz	10	0,679	0,715	0,703	0,01471
	Cam fiber	10	0,718	0,755	0,737	0,01173
	Karbon fiber	10	0,713	0,745	0,729	0,01142
175 °C	Takviyesiz	10	0,662	0,715	0,683	0,01678
	Cam fiber	10	0,688	0,742	0,711	0,01811
	Karbon fiber	10	0,685	0,732	0,708	0,01462
200 °C	Takviyesiz	10	0,631	0,685	0,657	0,01833
	Cam fiber	10	0,665	0,711	0,689	0,01436
	Karbon fiber	10	0,672	0,724	0,694	0,01723

Min: Minimum yoğunluk değeri, Max: Maximum yoğunluk değeri, X: Ortalama yoğunluk değeri, S: Standart sapma

Bu sonuçlara göre ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değerleri azalmıştır. Ayrıca cam elyaf ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş lamine örneklerin yoğunlukları güçlendirme yapılmamış lamine örneklerin yoğunluklarından daha yüksektir. En yüksek hava kurusu yoğunluk değeri ısıl işlem uygulanmamış ve cam fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (0,742 g/cm³) elde edilirken, en düşük 200 °C ısıl işlem uygulanmış ve takviyesiz örneklerde (0,657 g/cm³) elde edilmiştir.

5.2. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyi sonucunda elde edilen eğilme dirençlerine ait istatistik değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Eğilme direnci değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (N/mm ²)	Max (N/mm ²)	X _{ort} (N/mm ²)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	105,05	121,42	103,45	4,21677
	Cam fiber	10	110,85	128,99	116,41	5,43112
	Karbon fiber	10	112,61	128,65	121,16	4,10865
150 °C	Takviyesiz	10	105,62	120,69	114,33	3,82365
	Cam fiber	10	110,06	126,25	117,49	3,93634
	Karbon fiber	10	115,69	132,19	123,95	4,43740
175 °C	Takviyesiz	10	96,42	111,99	104,72	4,08355
	Cam fiber	10	98,95	117,95	106,58	5,87672
	Karbon fiber	10	104,25	122,66	113,78	5,65717
200 °C	Takviyesiz	10	83,81	100,85	93,48	5,38938
	Cam fiber	10	90,25	1006,42	97,48	5,56407
	Karbon fiber	10	96,15	112,69	105,85	4,71677

Çizelge 5.2' ye göre ortalama değerler arasında farklılıklar olduğu görülmüş ve bu farklılığın hangi faktörden kaynaklandığını ve önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi test sonuçları Çizelge 5.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Eğilme direncine ait varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Isıl işlem sıcaklığı (A)	3	7369,887	2456,629	106,4255	0,0000
Elyaf türü (B)	2	1979,820	989,910	42,8847	0,0000
Etkileşim (AB)	6	66,908	11,151	0,4831	*
Hata	108	2492,972	23,083	-	-
Toplam	119	11909,588	-	-	-

*: önemsiz

Çizelge 5.3' e göre eğilme direncinde ısıl işlem sıcaklığının ve güçlendirici elyaf malzeme türünün etkisi önemli çıkarken ($P \leq 0,05$) bu iki faktörün etkileşimi ise önemsizdir. Yapılan Duncan karşılaştırma testinin sonuçları Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Isıl işlem sıcaklığına göre eğilme direnci değerleri.

Isıl İşlem	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	117,0	A
150 °C	118,6	A
175 °C	108,3	B
200 °C	98,94	C
LSD	2,456	

Buna göre en yüksek eğilme direnci değeri 150 °C’de ısıl işleme maruz kalan örneklerde (118,6 N/mm²) belirlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak eğilme direnci azalmış ve en düşük 200 °C’ de ısıl işleme maruz kalan örneklerde (98,94 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. Takviye türüne göre eğilme direnci değerleri.

Takviye türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Takviyesiz	106,5	C
Cam elyaf	109,5	B
Karbon elyaf	116,2	A
LSD	2,127	

Çizelge 5.5’e göre en düşük eğilme direnci değeri takviyesiz örneklerde (106,5 N/mm²) belirlenirken, en yüksek karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (116,2 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Eğilme direncinde Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem	Laminasyon türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	113,45	C
	Cam fiber	116,41	C
	Karbon fiber	121,16	AB
150 °C	Takviyesiz	114,33	C
	Cam fiber	117,49	BC
	Karbon fiber	123,95	A
175 °C	Takviyesiz	104,72	D
	Cam fiber	106,58	D
	Karbon fiber	113,78	C
200 °C	Takviyesiz	93,48	E
	Cam fiber	97,48	E
	Karbon fiber	105,85	D
LSD		4,254	

Çizelge 5.6' ya göre en yüksek eğilme direnci değeri 150 °C'de ısıl işlem uygulanmış ve karbon elyaf ile takviye edilmiş örneklerde (123,95 N/mm²), en düşük eğilme direnci ise 200 °C'de ısıl işlem uygulanmış ve takviye edilmemiş örneklerde (93,48 N/mm²) elde edilmiştir.

5.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülüne ait istatistik değerler Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (N/mm ²)	Max (N/mm ²)	X _{ort} (N/mm ²)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	11025	12621	11665	437,39
	Cam fiber	10	11569	13024	12314	455,18
	Karbon fiber	10	12485	13955	13299	485,66
150 °C	Takviyesiz	10	10804	12139	11121	495,79
	Cam fiber	10	11365	13215	12168	614,91
	Karbon fiber	10	12048	13992	13085	601,24
175 °C	Takviyesiz	10	10031	11628	10742	542,91
	Cam fiber	10	11125	12852	11787	508,55
	Karbon fiber	10	11956	12798	12349	288,53
200 °C	Takviyesiz	10	9258	10625	9885	416,28
	Cam fiber	10	10125	10989	10442	294,03
	Karbon fiber	10	11015	11996	11478	380,79

Çizelge 5.7’ ye göre, yapılan deneyler sonucunda eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ısıl işlem ve güçlendirici malzemeye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Farklılıkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Eğilmede elastikiyet modülüne ait varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Isıl işlem sıcaklığı (A)	3	58003043,692	19334347,897	87,1576	0,0000
Elyaf türü (B)	2	57771492,350	28885746,175	130,2145	0,0000
Etkileşim (AB)	6	1498688,383	249781,397	1,1260	0,3521*
Hata	108	23957858,900	221832,027	-	-
Toplam	119	141231083,325	-	-	-

*: önemsiz

Eğilmede elastikiyet modülü üzerine yapılan varyans analizine göre ısıtım işlem sıcaklığı ve elyaf türünün etkisi elastikiyet modülü üzerine önemli çıkarken bu iki faktörün etkileşimi önemsizdir. Elastikiyet modülü üzerine yapılan Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 5.9, Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.9. Isıtım işlem sıcaklığına göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Isıtım İşlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıtım işlemsiz	12426	A
150 °C	12124	B
175 °C	11626	C
200 °C	10601	D
LSD	240,8	

Buna göre en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri ısıtım işlem uygulanmamış örneklerde (12426 N/mm²) belirlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak elastikiyet modülü azalmış ve en düşük 200 °C’de ısıtım işleme maruz kalan örneklerde (10601 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.10. Takviye türüne göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Takviye türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Takviyesiz	10853	C
Cam elyaf	11677	B
Karbon elyaf	12553	A
LSD	208,5	

Çizelge 5.10’a göre en düşük elastikiyet modülü takviyesiz örneklerde (10853 N/mm²) belirlenirken, en yüksek karbon fiber ile güçlendirilmiş örneklerde (12553 N/mm²) tespit edilmiştir.

Çizelge 5.11. Elastikiyet modülünde Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem	Laminasyon türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	11665	D
	Cam fiber	12314	B
	Karbon fiber	13299	A
150 °C	Takviyesiz	11121	EF
	Cam fiber	12168	BC
	Karbon fiber	13085	A
175 °C	Takviyesiz	10742	FG
	Cam fiber	11787	CD
	Karbon fiber	12349	B
200 °C	Takviyesiz	9885	H
	Cam fiber	10442	G
	Karbon fiber	11478	DE
LSD		417,1	

En yüksek eğilmede elastikiyet modülü ısıl işlemsiz ve karbon fiber malzemeyle güçlendirilen örneklerde (13299 N/mm²), en düşük ise 200 °C’de ısıl işlem uygulanan güçlendirilmemiş örneklerde (9885 N/mm²) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü azalmıştır.

5.4. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç deneyleri sonucunda lamine edilen gruplara ait basınç direnci ortalaman değerleri Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Liflere paralel basınç direnci değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (N/mm ²)	Max (N/mm ²)	X _{ort} (N/mm ²)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	67,62	72,62	69,75	1,6091
	Cam fiber	10	60,54	66,42	64,65	1,7665
	Karbon fiber	10	65,25	70,46	68,42	1,7699
150 °C	Takviyesiz	10	63,25	68,45	65,85	1,5881
	Cam fiber	10	67,99	72,62	69,71	1,5662
	Karbon fiber	10	61,45	66,75	64,72	1,8262
175 °C	Takviyesiz	10	57,26	63,12	60,49	1,9030
	Cam fiber	10	60,49	65,52	62,95	1,6663
	Karbon fiber	10	54,62	59,62	57,45	1,6750
200 °C	Takviyesiz	10	55,42	61,25	58,49	1,6788
	Cam fiber	10	54,24	58,92	55,95	1,4759
	Karbon fiber	10	58,75	64,25	61,95	1,8375

Çizelge 5.12'ye göre ısıl işlem liflere paralel basınç direnci üzerine olumsuz etki yapmış ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak liflere paralel basınç direnci azalmıştır. Ayrıca cam elyaf ve karbon elyafa bağlı olarak basınç direnci de farklılık göstermiştir. Isıl işlem ve güçlendirici malzemenin basınç direnci üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Liflere paralel basınç direncine ait varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Isıl işlem sıcaklığı (A)	3	1793,215	597,738	206,5200	0,0000
Elyaf türü (B)	2	5,362	2,681	0,9263	*
Etkileşim (AB)	6	605,346	100,891	34,3581	0,0000
Hata	108	312,588	2,894	-	-
Toplam	119	2716,512	-	-	-

*: önemsiz

Varyans analizine göre liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıl işlem sıcaklığının ve ısıl işlem sıcaklığı ile güçlendirici malzeme türünün etkileşimi önemli çıkarken, güçlendirici

malzeme türü kendi başına liflere paralel basınç direncinde önemli bir etki yapmamıştır. Yapılan Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 5.14, ve Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Isıl işlem sıcaklığına göre liflere paralel basınç direnci değerleri.

Isıl İşlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	67,60	A
150 °C	66,76	A
175 °C	60,30	B
200 °C	58,80	C
LSD	0,8697	

Buna göre en yüksek liflere paralel basınç direnci ısıtılma maruz kalmayan örneklerde (67,60 N/mm²) belirlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak liflere paralel basınç direnci azalmış ve en düşük 200 °C'de ısıtılma maruz kalan örneklerde (58,80 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.15. Liflere paralel basınç direncinde Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem	Laminasyon türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	69,75	A
	Cam fiber	64,65	B
	Karbon fiber	68,42	A
150 °C	Takviyesiz	65,85	B
	Cam fiber	69,71	A
	Karbon fiber	64,72	B
175 °C	Takviyesiz	60,49	D
	Cam fiber	62,95	C
	Karbon fiber	57,45	EF
200 °C	Takviyesiz	58,49	E
	Cam fiber	55,95	F
	Karbon fiber	61,95	CD
LSD		1,506	

Çizelge 5.15'e göre liflere paralel basınç direnci en yüksek ısı işlem uygulanmayan ve güçlendirme yapılmayan örneklerde (69,75 N/mm²), en düşük ise 200 °C' de ısı işlem uygulanan ve cam elyaf ile güçlendirilen örneklerde (55,95 N/mm²) elde edilmiştir. Liflere paralel basınç direncinde ısı işlem olumsuz etki yaparken güçlendirici malzemelerden cam elyaf 150 ve 175 °C' de ve karbon elyaf ise 200 °C' de kendi grubunda basınç direncini artırmıştır.

5.5. Yapışma Direnci

Deney sonuçlarında elde edilen yapışma direnci ortalama değerleri Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Yapışma direnci ortalama değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (N/mm ²)	Max (N/mm ²)	X _{ort} (N/mm ²)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	9,14	12,95	10,57	0,9844
	Cam fiber	10	9,37	12,42	10,42	0,8288
	Karbon fiber	10	9,01	10,52	9,72	0,5661
150 °C	Takviyesiz	10	8,98	10,17	9,51	0,4109
	Cam fiber	10	8,03	10,01	9,07	0,7050
	Karbon fiber	10	7,56	9,28	8,56	0,6079
175 °C	Takviyesiz	10	8,05	10,32	9,11	0,8109
	Cam fiber	10	7,59	9,36	8,42	0,6484
	Karbon fiber	10	6,31	8,25	7,22	0,6977
200 °C	Takviyesiz	10	7,51	9,42	8,23	0,5577
	Cam fiber	10	6,01	7,95	6,92	0,6509
	Karbon fiber	10	5,38	8,08	6,55	0,7146

Çizelge 5.16'ya göre yapışma direnci ısı işlem ve güçlendirici malzemelerden olumsuz etkilenerek azalmıştır. Yapışma direnci üzerine ısı işlem ve güçlendirici malzemenin etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Yapışma direncine ait varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Isıl işlem sıcaklığı (A)	3	145,957	48,652	118,0607	0,0000
Elyaf türü (B)	2	29,589	14,795	35,9006	0,0000
Etkileşim (AB)	6	12,653	2,109	5,1172	0,0001
Hata	108	44,506	0,412	-	-
Toplam	119	232,705	-	-	-

Yapışma direncine ait varyans analizine göre ısıl işlem sıcaklığı, güçlendirici malzeme ve bunların ikili etkileşimi önemli çıkmıştır. Yapılan Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.18, Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20' de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Isıl işlem sıcaklığına göre yapışma direnci değerleri.

Isıl İşlem sıcaklığı	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	10,24	A
150 °C	9,047	B
175 °C	8,217	C
200 °C	7,233	D
LSD	0,3282	

Buna göre en yüksek yapışma direnci ısıl işleme maruz kalmayan örneklerde (10,24 N/mm²) belirlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak yapışma direnci azalmış ve en düşük 200 °C'de ısıl işleme maruz kalan örneklerde (7,233 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.19. Takviye türüne göre yapışma direnci değerleri.

Takviye türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Takviyesiz	9,318	A
Cam elyaf	8,627	B
Karbon elyaf	8,105	C
LSD	0,2842	

Çizelge 5.19'a göre en yüksek yapışma direnci takviyesiz örneklerde (9,318 N/mm²), en düşük yapışma direnci ise karbon elyaf ile güçlendirilen lamine örneklerde (8,105 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.20. Yapışma direncinde Duncan testi sonuçları.

Isıl işlem	Laminasyon türü	X_{ort} (N/mm ²)	HG
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10,57	A
	Cam fiber	10,42	A
	Karbon fiber	9,72	B
150 °C	Takviyesiz	9,51	BC
	Cam fiber	9,07	CD
	Karbon fiber	8,56	DE
175 °C	Takviyesiz	9,11	CD
	Cam fiber	8,42	E
	Karbon fiber	7,22	F
200 °C	Takviyesiz	8,23	E
	Cam fiber	6,92	G
	Karbon fiber	6,55	FG
LSD		0,5684	

Yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre en yüksek yapışma direnci ısıl işlem uygulanmayan güçlendirilmemiş örneklerde (10,57 N/mm²), en düşük ise 200 °C'de ısıl işlem uygulanmış ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerde (6,55 N/mm²) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığına ve güçlendirici malzeme türüne bağlı olarak yapışma direnci kademeli olarak azalmıştır.

5.6. Hacimsel Şişme

Isıl işleme tabi tutulmuş ve elyaf malzemeler ile güçlendirilmiş lamine ahşap malzemelerin hacimsel şişme ortalama değerleri Çizelge 5.21'te verilmiştir.

Çizelge 5.21. Hacimsel şişme değerleri.

Isıl işlem	Laminasyon türü	Numune sayısı	Min (%)	Max (%)	X _{ort} (%)	S
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	10	14,73	17,41	15,96	0,6373
	Cam fiber	10	13,99	16,43	15,21	0,5828
	Karbon fiber	10	13,66	16,42	14,98	0,6864
150 °C	Takviyesiz	10	13,21	16,33	14,95	0,7596
	Cam fiber	10	13,56	16,01	14,53	0,6237
	Karbon fiber	10	13,32	15,42	14,22	0,5706
175 °C	Takviyesiz	10	12,01	14,48	13,24	0,6013
	Cam fiber	10	11,63	14,55	13,05	0,7884
	Karbon fiber	10	13,62	11,48	12,33	0,5428
200 °C	Takviyesiz	10	9,85	12,33	11,17	0,5987
	Cam fiber	10	10,01	12,85	11,48	0,6791
	Karbon fiber	10	9,85	12,24	10,93	0,5879

Çizelge 5.21' e göre hacimsel şişme değerleri ısıl işlem sıcaklığına ve kullanılan elyaf malzeme türüne göre azalmıştır. Isıl işlem ve güçlendirici malzemenin hacimsel şişmeye etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Hacimsel şişme değerlerine ait varyans analizi.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Isıl işlem sıcaklığı (A)	3	309,520	103,173	1565,9106	0,0000
Elyaf türü (B)	2	9,874	4,937	74,9276	0,0000
Etkileşim (AB)	6	3,490	0,582	8,8287	0,0000
Hata	108	7,116	0,066	-	-
Toplam	119	330,000	-	-	-

Varyans analizine göre hacimsel şişme değerlerinde ısıl işlem sıcaklığı, güçlendirici malzeme ve bunların ikili etkileşimi önemli çıkmıştır. Yapılan Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.23, Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.23. Isıl işlem sıcaklığına göre hacimsel şişme değerleri

Isıl İşlem sıcaklığı	X_{ort} (%)	HG
Isıl işlemsiz	15,38	A
150 °C	14,53	B
175 °C	12,87	C
200 °C	11,20	D
LSD	0,1313	

Buna göre en yüksek hacimsel şişme değeri ısıl işleme maruz kalmayan örneklerde (%15,38) belirlenirken, sıcaklığın artmasına bağlı olarak hacimsel şişme değerleri önemli derecede azalmış ve en düşük 200 °C'de ısıl işleme maruz kalan örneklerde (% 11,20) belirlenmiştir.

Çizelge 5.24. Takviye türüne göre hacimsel şişme değerleri

Takviye türü	X_{ort} (%)	HG
Takviyesiz	13,81	A
Cam elyaf	13,57	B
Karbon elyaf	13,11	C
LSD	0,1137	

Çizelge 5,24'e göre en yüksek hacimsel şişme değeri takviyesiz örneklerde (% 13,81), en düşük hacimsel şişme değeri ise karbon elyaf ile güçlendirilen lamine örneklerde (% 13,11) belirlenmiştir.

Çizelge 5.25. Hacimsel şişmede Duncan testi sonuçları.

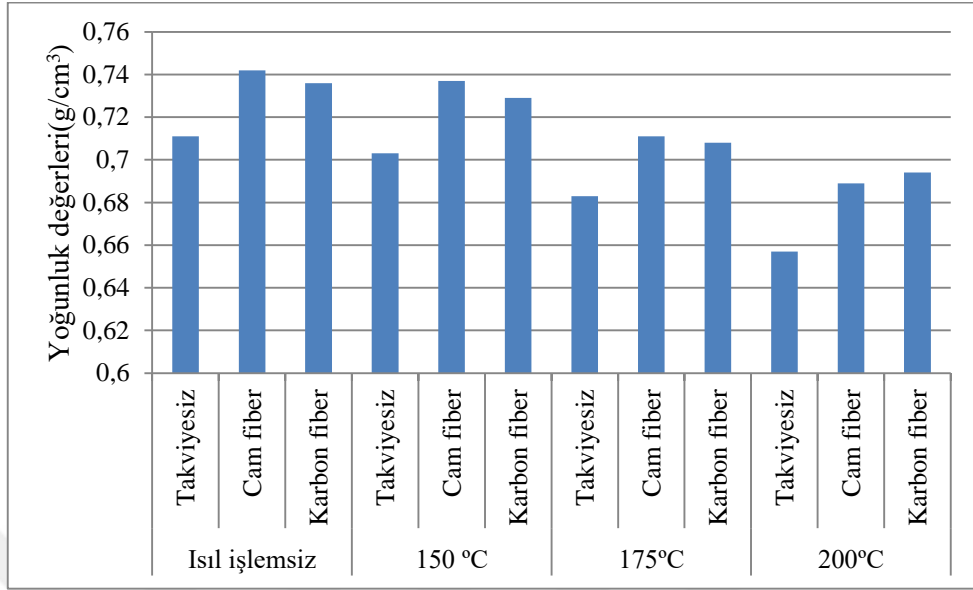
Isıl işlem	Laminasyon türü	X_{ort} (%)	HG
Isıl işlemsiz	Takviyesiz	15,96	A
	Cam fiber	15,21	B
	Karbon fiber	14,98	C
150 °C	Takviyesiz	14,95	C
	Cam fiber	14,53	D
	Karbon fiber	14,22	E
175 °C	Takviyesiz	13,24	F
	Cam fiber	13,05	F
	Karbon fiber	12,33	G
200 °C	Takviyesiz	11,17	I
	Cam fiber	11,48	H
	Karbon fiber	10,93	J
LSD		0, 2275	

Yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre en yüksek hacimsel şişme değeri ısıl işlem uygulanmayan ve güçlendirilmemiş örneklerde (% 15,96), en düşük ise 200 °C’ de ısıl işlem uygulanmış ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerde (% 10,93) elde edilmiştir.

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

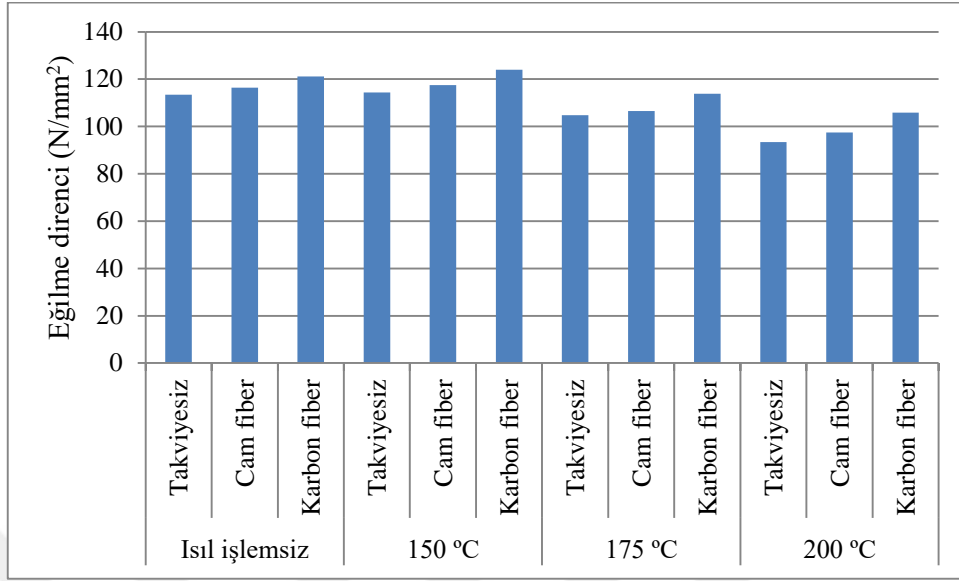
Bu çalışmada ısı işlem uygulanmış Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ağacının cam elyaf ve karbon elyafın ile güçlendirilmesi sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

Yoğunluk değerlerinde ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülürken kullanılan cam elyaf ve karbon elyaf yoğunluk değerini arttırmıştır. En yüksek hava kurusu yoğunluk değeri ısı işlem uygulanmamış ve cam fiber ile güçlendirilmiş örneklerde ($0,742 \text{ g/cm}^3$) elde edilirken, en düşük $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ısı işlem uygulanmış ve güçlendirici kullanılmamış örneklerde ($0,657 \text{ g/cm}^3$) bulunmuştur. Isı işlem uygulamalarından sonra örneklerin yoğunluk değerlerindeki azalmaların temel sebeplerinin yaşanan kütle kaybından ve denge rutubet miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isı işlem sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşen yoğunluk kaybı, örneklerde meydana gelen kütle kayıplarından ve denge rutubet miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önceki yapılan ısı işlem uygulamalarında görülen yoğunluk değerlerindeki azalmaların, öncelikle ağaç malzemenin temel bileşenlerinden hemiselülozun daha sonrada selüloz, lignin ve bazı ekstraktif maddelerin ağaçtan uzaklaşarak kütle kaybına sebep olması ve ısı işlem uygulanmış ağaç malzemelerin daha düşük nem derecelerine sahip olmasından olabileceğini belirten çalışmalar vardır (Vital ve Lucia, 1982; Rusche, 1973; Boonstra vd., 2007). Bu çalışmadan elde edilen yoğunluk değerindeki azalmalar yapılan bu çalışmalarla da uyumluluk göstermiştir. Güçlendirilmiş malzemelerdeki yoğunluk artışı lameller arasında kullanılan fazla miktardaki tutkaldan ve güçlendirici malzemelerden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 6.1. Test örneklerine ait yoğunluk değerleri.

Eğilme direnci üzerine ısı işlem ve güçlendirici malzemelerin etkileri farklılık göstermektedir. Isıl işlem lamine ağaç malzemelerin eğilme direncini düşürürken güçlendirici malzemelerin türüne göre farklı oranlarda artışlar gerçekleşmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri 150 °C’ de ısı işlem uygulanmış ve karbon elyaf ile takviye edilmiş örneklerde (123,95 N/mm²), en düşük ise 200 °C de ısı işlem gören ve güçlendirilmemiş malzemelerde (93,48 N/mm²) gerçekleşmiştir. Çizelge 5.4’ e göre eğilme direnci 150 °C de ısı işlem uygulanan örneklerde bir miktar artarken daha yüksek sıcaklıklarda düşüş göstermiştir. Ayrıca karbon elyaf ile güçlendirilmiş lamine ahşapların eğilme direnci cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklerden daha yüksektir (Çizelge 5.5). Bu durum karbon elyafın karakteristik özelliklerinden kaynaklanıyor olabilir. En fazla direnç kaybı 200 °C de ısı işlem gören örneklerde gerçekleşmiştir. Eğilme direncinde ısı işleme bağlı olarak gerçekleşen direnç kayıplarından başta hemiselüloz olmak üzere odun bileşenlerinin bozunması, ısı işleme bağlı olarak gerçekleşen ağırlık kayıpları etkili olabilir.

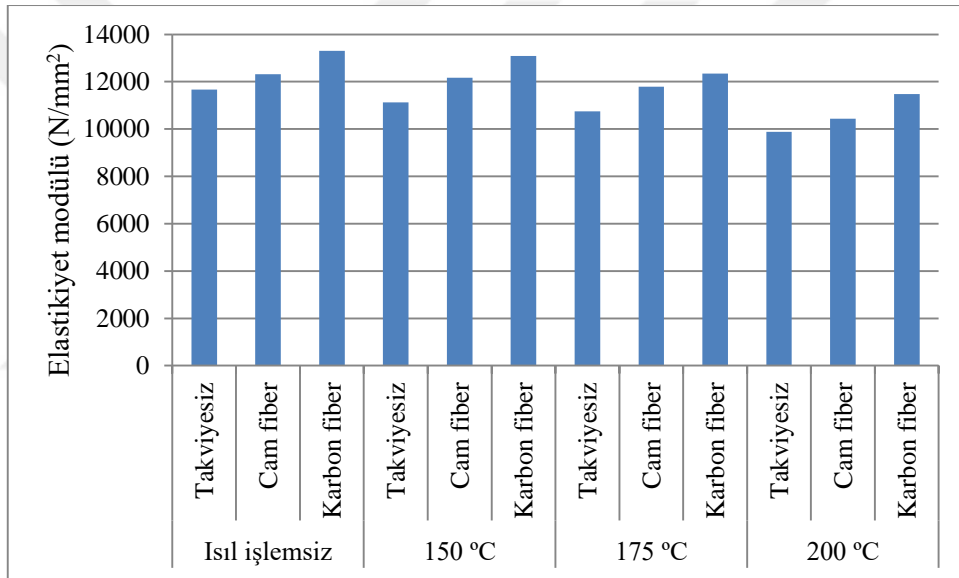


Şekil 6.2. Test örneklerine ait eğilme direnci değerleri.

Vital vd., (1983), 105-155 °C sıcaklıklarda okalyptus ağacını değişik sürelerde termal işleme tabi tuttukten sonra eğilme dirençlerinde, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde, liflere paralel basınç ve makaslama dirençlerinde önemli derecede düşüşlerin olduğunu belirlemişlerdir. Benzer bir çalışmada 2, 6 ve 10 saat süreyle 130, 150, 180 ve 200 °C ısı işleme tabi tutulan Kayın ve Ladin odunlarında ısı işleme süresi ve sıcaklığı arttıkça ağaç malzemenin eğilme direncinde kayıpların yaşandığını belirtmiştir. En fazla eğilme direnci kaybı Kayın odununda 6 ve 10 saat süreyle 200 °C ısı işleme tabi tutulan örneklerde % 63,87 ve % 63,56 olarak gerçekleşmiştir. Aynı çalışmada Ladin odunundaki direnç kaybı en fazla yine 6 ve 10 saat süreyle 200 °C'de ısı işleme tabi tutulan örneklerde % 63,77 ve % 72,69 olarak gerçekleşmiştir (Yıldız, 2002). Güçlendirici malzemelerin her ikisi de eğilme direncinin artmasına neden olurken karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerin eğilme direnci cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklerden daha yüksektir. Literatürde cam ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş çalışmalarda eğilme direncinin arttığını gösteren çalışmalar vardır (Muratoğlu, 2011; Mustak 2013; Altay, 2014). Başka bir çalışmada ise cam elyaf ile güçlendirilen lamine kaplama kerestelerin eğilme direncinde artışlar olduğu belirlenmiştir (Bal, 2014).

Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ısı işleme sıcaklığı ve güçlendirici malzemeye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Farklılıkların önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre ısı işleme sıcaklığı ve elyaf türünün

etkisi elastikiyet modülü üzerine önemli çıkarken bu iki faktörün etkileşimi önemsizdir. Elastikiyet modülü ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak azalırken cam ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerin elastikiyet modülü kontrol örneklerine göre daha yüksektir. En yüksek eğilimde elastikiyet modülü ısı işlemsiz ve karbon fiber malzemeyle güçlendirilen örneklerde (13299 N/mm²), en düşük ise 200 °C’de ısı işlem uygulanan güçlendirilmemiş örneklerde (9885 N/mm²) elde edilmiştir. Elastikiyet modülünün azalmasında yukarıda da bahsedildiği gibi başta odun polimerlerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak degrade olması ve ağaç malzemede yaşanan kütle kayıpları sorumlu olabilir. Kontrol örneklerine kıyasla en fazla elastikiyet modülü kaybı 200 °C’de ısı işleme tabi tutulan örneklerde % 14.7 oranında gerçekleşmiştir.

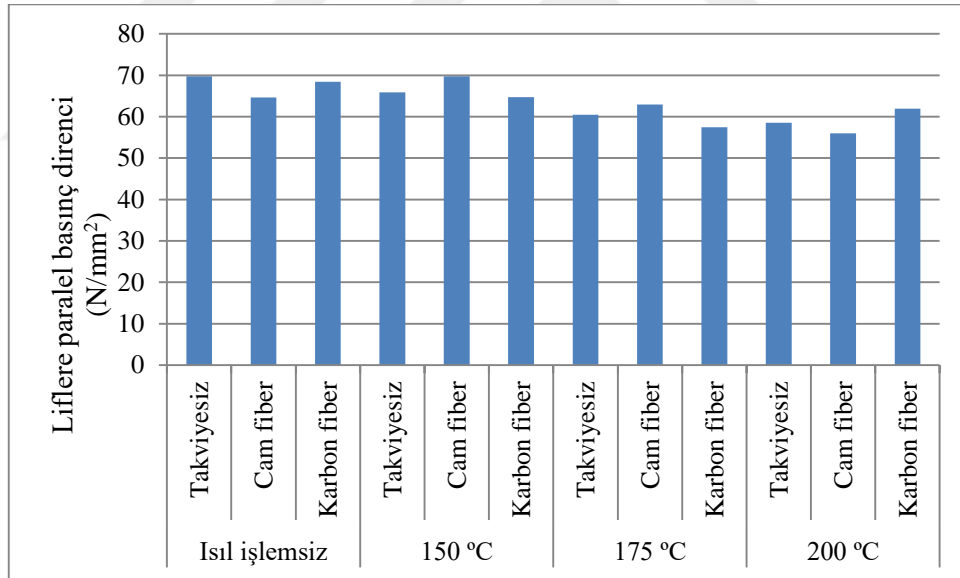


Şekil 6.3. Test örneklerine ait elastikiyet modülü değerleri.

Literatürde, 150 °C’nin üzerinde işlem gören çam örneklerin elastikiyet modülünde ciddi ölçüde düşüşlerin gerçekleştiği belirtilmiştir (Schneider, 1971). Korkut (2008) yapmış olduğu çalışmada 180 °C’de 2 saat süre ile ısı işleme tabi tutulan göknarda % 35 gibi yüksek oranda bir elastikiyet modülü kaybı yaşandığını belirtmiştir. Bekhta ve Niemz (2003), kayın (*Fagus orientalis* L.) odununun fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini araştırdığı çalışmalarında ısı işlem sıcaklığı arttıkça ağaç malzemenin renginin koyulaştığı ve elastikiyet modülündeki kaybın % 4 - % 9 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneklerine göre cam ve karbon elyafı güçlendirilmiş lamine malzemelerin elastikiyet modülü

daha yüksektir. Bu durumun güçlendirici malzemelerin karakteristik özelliklerinden kaynaklanıyor olduğu düşünülmektedir. Bu durum literatürle de uyumludur (Muratoğlu, 2011; Mıstak, 2013; Altay, 2014).

Liflere paralel basınç 150 °C’ de fazla bir değişiklik göstermezken ısı işlem sıcaklığı arttıkça basınç direnci de azalmıştır. Buna göre liflere paralel basınç direnci en yüksek ısı işlem uygulanmayan ve güçlendirme yapılmayan örneklerde (69,75 N/mm²), en düşük ise 200 °C’de ısı işlem uygulanan ve cam elyaf ile güçlendirilen örneklerde (55,95 N/mm²) elde edilmiştir. Ayrıca cam elyaf ve karbon elyafa bağlı olarak basınç direnci de çok az bir farklılık gösterirken bu durum istatistiksel açıdan önemli çıkmamıştır (P≤0.05). Literatürde ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak basınç direncinin arttığını gösteren çalışmalar vardır (Şahin Kol, 2010; Özçifçi vd., 2009). Bu çalışmada liflere paralel basınç direncinin azalmasında uygulanan ısı işlem metodu, ısı işlem sıcaklığı ve ağaç türü etkili olabilir. Şekil 6.4’ te örneklere ait basınç direnci değerleri verilmiştir.

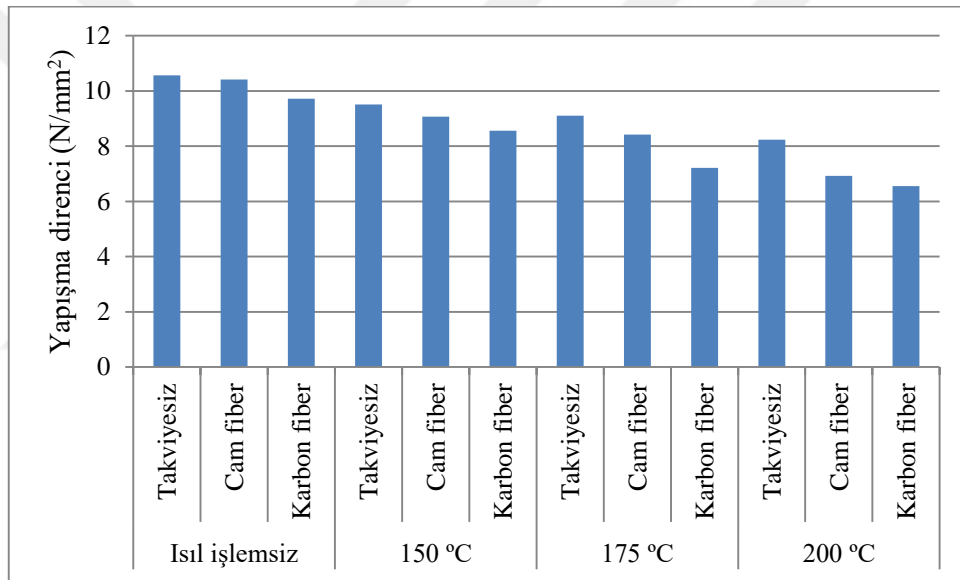


Şekil 6.4. Isıl işlem ve elyaf türüne göre basınç dirençleri.

Literatürde karbon elyaf ile güçlendirilmiş lamine sarıçam ahşap malzemelerde liflere paralel basınç direnci kontrol örneklerine göre düşerken, kayın örneklerde ise çok az yüksek çıkmıştır (Muratoğlu, 2011). Başka bir çalışmada ise cam elyaf ve karbon elyaf ile güçlendirilen lamine sarıçam malzemelerde kontrol örneklerine göre liflere paralel basınç direnci artış

göstermiştir (Mıstık, 2013). Liflere paralel basınç direnci üzerine cam elyafın etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise cam elyaf ile güçlendirilmiş lamine malzemelerin basınç direnci güçlendirme yapılmamış örneklerden daha düşük çıkmıştır (Togay ve Erdin, 2014).

Çalışma sonunda yapılan tutkal hattına ve liflere paralel yapışma direnci ısıtılma sıcaklığının artmasıyla ters orantılı olarak azalmıştır. Buna göre en yüksek yapışma direnci ısıtılma işlem uygulanmayan güçlendirilmemiş örneklerde ($10,57 \text{ N/mm}^2$), en düşük ise $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtılma işlem uygulanmış ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerde ($6,55 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir. Yani yapışma direnci ısıtılma sıcaklığından olumsuz etkilenmiştir (Şekil 6.5). Çalışmada ayrıca elyaf malzemelerin yapışma direncini azalttığı görülmektedir.

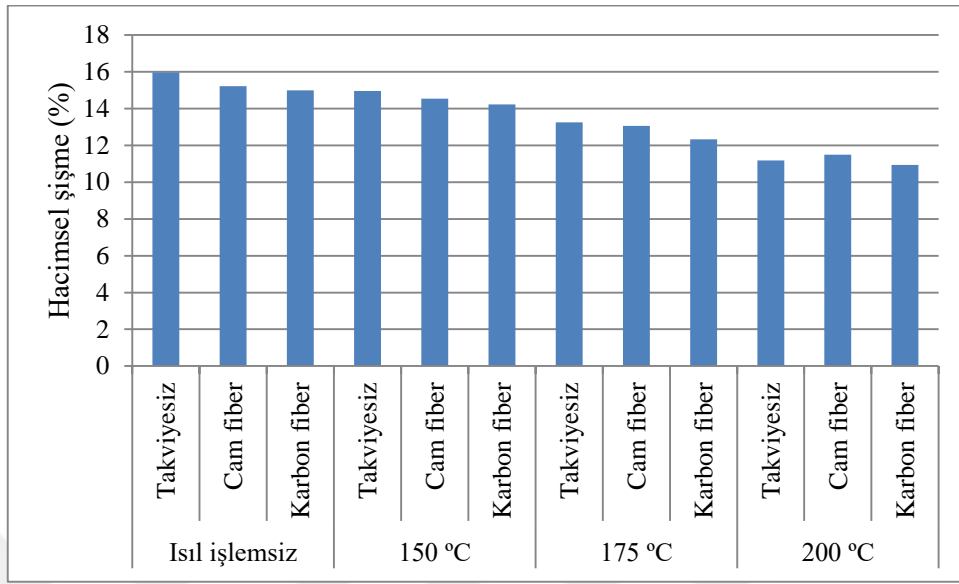


Şekil 6.5. Test örneklerine ait yapışma dirençleri.

Literatürde ısıtılma işleminin yapışma direncine etkilerinin incelendiği bir çok çalışma vardır. Şahin Kol vd., (2009) yapmış olduğu çalışmalarında termal muameleye tabi tutulmuş karaçam odununu, fenol formaldehit, melamin üre formaldehit, melamin formaldehit, poliüretan ve üre formaldehit tutkalları ile yapıştırarak ısıtılma işleminin yapışma direncine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda termal muameleye tabi tutulan örneklerin yapışma direncinin kontrol örneklerden daha düşük olduğunu ve ısıtılma işleminin ağaç malzemenin yapışma direncini negatif olarak etkilediğini bildirmişlerdir.

Boonstra vd., (2007) tarafından yapılan bir çalışmada yapışma direnci üzerinde etkili olan faktörlerden ahşap malzemenin pH değerinin olduğu, ısıtılma işlemi uygulanmış ağaç malzemenin pH değerinin azaldığı belirtilmiştir. Isıtılma işlemi uygulamalarından sonra görülen pH değerlerindeki düşüşler ağaç malzemenin birbirine yapıştırılması için kullanılan yapıştırıcının tür ve cinsine bağlı olarak yapıştırıcının yapısını bir miktar değiştirerek kürlenme değerlerini değiştirebilir (Sernek vd., 2008). Elyaf malzemeler yapışma direncini olumsuz olarak etkilemiş ve bu durum istatistiksel olarak önemli bir bulgu olarak çıkmıştır. Bu durumun elyaf malzemelerin yüzey karakteristik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kullanılan elyaf malzemeler düz dokuma olmasına rağmen yüzeyleri dalgalı formda için ağaç malzeme, tutkal ve elyaf malzeme arasında güçlü bir adezyon ve kohezyon bağı kurulamamıştır. Cam elyaf kullanılarak güçlendirme yapılan bir çalışmada kavak kaplamalar arasında yapışma direnci araştırılmış ve güçlendirici malzemeye bağlı olarak yapışma direnci azalmıştır (Bal, 2014).

Hacimsel şişme değerlerinde sıcaklık artışı ile ters orantılı bir değişim tespit edilmiştir ve sıcaklık arttıkça hacimsel şişme değerleri azalmıştır. Buna göre en yüksek hacimsel şişme değeri ısıtılma işlemi uygulanmayan ve güçlendirilmemiş örneklerde (% 15,96), en düşük ise 200 °C'de ısıtılma işlemi uygulanmış ve karbon elyaf ile güçlendirilmiş örneklerde (% 10,93) elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan elyaf malzemeye göre hacimsel şişme değerleri azalmış ve ısıtılma işlemi ile elyaf malzemelerin etkileri istatistiksel olarak önemli çıkmıştır (Şekil 6.6). Hacimsel şişme değeri kontrol örnekleri göre % 27,2 oranında azalarak en düşük 200 °C'de ısıtılma işlemi uygulanan örneklerde gerçekleşmiştir.



Şekil 6.6. Test örneklerine ait hacimsel şişme değerleri.

Ağaç malzemede bulunan ulaşılabilir serbest hidroksil grupları, ağaç malzemenin rutubet almasında anahtar rol üstlenir. Termal muamele ağaç malzemenin fiziksel özelliklerinde olduğu kimyasal özelliklerinde de özellikle de hidroksil gruplarında önemli değişikliklere sebep olur. Başta hemiselüloz olmak üzere ve diğer karbonhidratların depolimerizasyonu, hidroksil sayısının azalmasına neden olur. Bunun neticesinde su moleküllerinin kolayca ağaç malzemedeki içeri giremediği selülozun kristal zonunda belli oranlarda artışlar meydana gelir ve lignin ağında daha fazla çapraz bağların oluşumuna katkı sağlar. Bunun neticesinde ağaç malzeme daha az higroskopik olur ve su adsorpsiyonunda toplam miktarın azalmasına neden olarak ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunun sağlanmasına katkı sağlar (Hill,2006; Enjily ve Jones, 2006; Mitsui vd., 2001; Kartal vd., 2007). Literatürde ısıl işlemin ağaç malzemede boyutsal kararlılığa etkisi araştırılmış ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir (Boonstra, 2008; Mohebbi ve Sanaei, 2005; Santos, 2000). Yapılan bu çalışmanın sonuçları da bu literatürle de uyumludur. Cam ve karbon elyafın ağaç malzemede hacimsel şişme değerine azalmasına neden olmuştur. Bu durum cam ve karbon elyaf malzemenin daha az su absorbe ederek az miktarda su tutmasından kaynaklanıyor olabilir. Literatürde karbon elyaf malzemelerin daha az su absorbe ettiği belirtilmiştir (Choi vd., 2001).

Son yıllarda elyaf malzemelerle güçlendirilmiş lamine ağaç malzemelerin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla beraber ısıl işlem uygulanmış ahşap keresteler birçok alanda

yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlemin en büyük dez avantajlarından biriside ağaç malzemenin mekanik direncini düşürmesidir. Buda onun yük taşıyıcı sistemlerde kullanılmasını sınırlamaktadır (Yıldız, 2002). Bu çalışma sonunda ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin eğilme direnci ve elastikiyet modülünde, elyaf malzemelerin kullanılmasına bağlı olarak artışlar olduğu görülmüştür. Bununla beraber yapışma, liflere paralel basınç direnci ve hacimsel şişme değerlerinde azalmalar olmuştur. Bu nedenle ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerin kullanılması gerekli olan yerlerde belirli oranlarda yük artışlarını karşılamak için bu malzemelerin karbon elyafla güçlendirilerek kullanılması önerilebilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Akkılıç, H., Kaymakçı, A. ve Ünsal, Ö., (2014). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli, 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan, Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş – İstanbul

Altay, Ç., (2014). Karbon fiber destekli (CFRP) lamine ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Karabük.

Altınok, M., (1995). Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması, Doktora Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.

Altınok, M., Perçin, O., ve Doruk, Ş., (2010). Isıl İşlemin (Thermo-Process) Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, D.P.Ü., Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 23, 71-84.

Anşin, R. ve Özkan, Z. C. (1993). Tohumlu bitkiler-odunsu taksonlar. Karadeniz. Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Genel Yayın No:167, Fak. Yay. No:19, Trabzon.

Atar, M. ve Özçifçi, A., (2005). Lamine Edilmiş Ağaç Malzemede Farklı Test Ortamlarının ve Ağaç Türlerinin Yapışma Direncine Etkisi, Technology, 8(4): 305-310.

Atmaca, A., (2005). Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı, Yüksek Mühendislik Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 34-45.

Aydemir, D., (2007). Gökmar (Abies bornmülleriana Mattf.) ve Gürgeç (Carpinus betulus L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Z. K. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bal, B. C. ve Özyurt, H., (2015). Cam elyaf dokuma ile güçlendirilmiş tabakalı kaplama kerestenin bazı teknolojik özellikleri, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(1).

Bal, B.C., (2014). Flexural properties, bonding performance and splitting strength of LVL reinforced with woven glass fiber. Construction and Building Materials 51:9-14.

Beceren, R., (2000). Mimaride Ahşap, Güney Marmara Mimarlık Dergisi, Bursa Mimarlar Odası Yayınları, 35: 12-14.

Bekhta, P. ve Niemz, P., (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Holzforschung 57(5): 539-546.

Berkel, A., (1972). Ağaç Malzeme Teknolojisi, Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, 2. Cilt, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1745, Sermat Matbaası, İstanbul, 55 – 76, 93 – 94, 106 – 108, 132 – 133, 163 – 177, 200 – 226.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Boonstra, M. J., (2008). A Two-Stage Thermal Modification of Wood, Dissertation in Cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré-Nancy 1, p: 297 ISBN 978-90-5989-210-1.

Boonstra, M.J., Van, A. J., Tjeerdsma, B. F. ve Kegel, E. V. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science* 64(7): 679-690. doi:10.1051/forest:2007048

Borri A., Corradi M. ve Grazini A., (2005). A method for flexural reinforcement of old wood beams with cfrp materials”, *Composites: Part B*, 36(2): 143–153.

Bourgois, J., Bartholin, M. C. ve Guyonnet, R. (1989). Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product, *Wood Science and Technology*, 23(4):303–310.

Bozkurt, A. Y. ve Göker, Y. (1987). Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3445/388.

Bozkurt, A. Y., Göker, Y. ve Erdin, N., (1993). Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İ.Ü. Yayın No:3779, O.F., Yayın No:425, İstanbul.

Bozkurt, A.Y., (1986). Ağaç Biçmede Şerit Testereler. *Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Sayı 4, 11-23.

Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1997). Ağaç teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 3998, Fak. Yay. No: 445, İstanbul.

BS EN 205, (1991). Test Methods for Wood Adhesive for Non-Structural Applications-Determination of Tensile Shear Strength of Lap Joints, *British Standards*, England, 11-13.

Chen, C. J., (1999). Mechanical behavior of fiberglass reinforced timber joints, Louisiana, USA.

Choi, H.S., Ahn, K.J., Nam, J.D. ve Chun, H.J. (2001). Hygroscopic aspects of epoxy/carbon fiber composite laminates in aircraft environments. *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing* 32(5):709-720.

Chung, Y., (1968). Glueability of Southern Pine Early and Late Wood, *Forest Products Journal*, USA, 18(2) :45-58.

Çolakoğlu, G., (1998). Wood Adhesives, K.T.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği, Lisansüstü Ders Notu, 32-58.

De Lorenzis L., Scialpi V. ve La Tegola A. (2005). Analytical and experimental study on bonded-in CFRP bars in glulam timber. *Compos Part B Eng* 36(4):279–289

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Enjily, V., ve Jones, D., (2006). The Potential For Modified Materials In The Panel Products Industry, Wood Resources and Panel Properties Conference, COST Action E44/E49, 12-14 June, 2006, Valencia, Spain.

Esteves, B., Velez, M. A., Domingos, I. ve Pereira, H., (2007). "Influence Of Steam Heating On The Properties Of Pine (*Pinus pinaster*) And Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood", Wood Science Technology, 41:193–207.

Esteves, B.M. ve Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. BioResources 4(1), 370-404

Fengel, D. ve Wegener, G., (1984). Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De Gruyter.

Garrote, G., Domínguez, H. ve Parajó, J. C., (1999). Hydrothermal Processing Of Lignocellulosic Materials, Holz Als Roh-Und Werkstoff, 57(3):191–202.

Gülner, M., (2016). Kompozit plaka üretim prosesi üzerine çalışmalar ve parametrelerin mekanik özelliklere etkisi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Güntekin, E. ve Yılmaz A. T., (2015). Kızılcımdan (*Pinus brutia* Ten.) Üretilen Tabakalı Kerestede Cam Lifi ve Çelik Plaka ile Güçlendirmenin Eğilme Performansına Etkisi, Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 2015, 15 (1): 73-77

Hafizoğlu, H., Yalınkılıç, M.K., Yıldız, Ü.C., Baysal, E., Demirci, Z. ve Peker, H., (1994). Türkiye Bor Kaynaklarının Odun Koruma (Emprenye) Endüstrisinde Değerlendirilme İmkanları, TÜBİTAK Projesi, TOAG-875, 377.

Hallstrom, S. ve Grenestedt, J. L., (1997). "Failure Analysis of laminated timber beams reinforced with glass fiber composite"s, Wood Science and Technology, 31(1): 17-34.

Hill, C.A.S., (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes", Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Inc., pp:260, Chichester, UK. ISBN: 978-0-470-02172-9.

<http://www.kompozit.net> 10.05.2017.

Huang, X., (2009). Fabrication and properties of carbon fibers. Materials 2(4): 2369–2403

Johansson, D., (2008). Heat Treatment of Solid Wood - Effects on Absorption, Strength and Colour, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, LTU Skellefteå, Division of Wood Physics, Sweden.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kamala B.S., Kuman P., Rao R.V. ve Sharman, S.N., (1999). Performance test of laminated veneer lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. Holz Roh- Werkst 57: 144–116

Kamdem, D. P., Pizzi, A. ve Jermannaud, A., (2002). “Durability Of Heat-Treated Wood”. Holz als Roh und Werkstoff 60: pp: 1-6. und Werkstoff 64: 192-197.

Kartal, S. N., ve Imamura, Y., (2004). Borlu Bileşiklerin Emprenye Maddesi Olarak Ağaç Malzeme ve Kompozitlerde Kullanımı Ü. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23 - 25 Eylül Eskişehir, Türkiye.

Kartal, S.N., Hwang, W. ve Imamura, Y., (2007). Water absorption of boron-treated and heat-modified wood. Journal of Wood Science. 53, 454-457.

Keskin, H., (2001). Lamine Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kılıç, E., (2006). Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 3-15.

Korkut, S. ve Kocaefe, D., (2009). Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 5(2): 11-34.

Korkut, S., (2008). The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir (Abies bornmulleriana Mattf.) wood. Building and Environment. 43 (4), 422-428.

Korkut, S., Korkut, D., S. ve Bekar, İ., (2008). “Okalıptüs (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi”, I. Ulusal Okalıptüs Sempozyumu.

Kortelainen, S.M., Antikainen, T. ve Viitaniemi, P., (2006). “The Water Absorption Of Sapwood And Heartwood Of Scots Pine Ad Norway Spruce Heat-Treated At 170°C, 190°C, 210°C And 230°C”. Holz als Roh und Werkstoff, (64), 192-197.

Kurtoğlu, A., (1979). Yapıştırılmış Tabakalı Ağaç Malzemede Rutubet Değişimi Nedeniyle Gerilmelerin Oluşumu, İ.Ü.,Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 29(2).

Kurtoğlu, A., (2000). Ağaç Malzeme Yüzey işlemleri ve Genel Bilgiler, İ. Ü., Orman Fakültesi, Orman End. Müh. Böl., İstanbul, I: 31-32.

Leithoff, H. ve Peek, R. D., (2001). Heat Treatment of Bamboo”, IRG/WP 01-40216 (The International Research Group On Wood Preservation), Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Leuschnerstr. 91, D 21031, Germany.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Malkoçoğlu, A., (1994). Doğu kayını Odununu Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bil. Ens., Trabzon, 152-153.

Mayes, D. ve Oksanen, O., (2002). ThermoWood Handbook, Finnforest, Finland.

Mıstak, O., (2013). Sarıçam ağaç malzeme ve farklı fiber (FRP) kumaşları ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Karabük.

Militz, H. ve Tjeerdsma, B., (2000). Heat treatment of wood by the Plato-process: Proceedings of Seminar "Production and development of heat treated wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stokholm, Oslo.

Militz, H., (2002). Heat Treatment Technologies in Europe": Scientific Background and Technological State-of-Art, Proceedings of Conference on "Enhancing the Durability Of Lumber And Engineered Wood Products, Orlando, Forest Products Society, Madison, US.

Mitsui, K., Takada, H., Sugiyama, M. ve Hasegawa, R., (2001). Changes in the Properties of Lignin-Irradiated Wood with Heat Treatment, Holzforshung, 55, 601-605.

Mohebbi, B. ve Sanaei, I., (2005). Influences of the hydrothermal treatment on physical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). The International Research Group On Wood Protection. Section 4-Processes and Properties, Document No: IRG/WP 05-40303.

Muratoğlu, A., (2011). Restorasyonda ahşap yapı elemanlarının karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) ile güçlendirilmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Karabük.

Nuopponen, M., (2005). FT-IR and UV Raman spectroscopic studies on thermal modification of Scots pine wood and its extractable compounds, Doctoral dissertation, Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Forest Products Chemistry, Reports Series A 23, Espoo-Finland

Ogawa, H., (1999). Architectural application of carbon fibers, development of new carbon fiber reinforced glulam", Toho R. Co. Ltd., Tokyo, Japan, 1-9.

Özçifçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F., (2009). Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.

Özdemir, G., (2005). Mechanical properties of CFRP anchorages, Master Of Science, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara, 22-74.

Peter, A.C. ve Tim J. D., (1998). High performance jointing systems for timber, School of The Built Environment, Coventry University, Priory Street, Coventry.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Pizzi, A., (2002). Melamine-formaldehyde resins, in Handbook of Adhesive Technology, Pizzi A., ve Mittal K. L. (Eds.), Marcel Dekker Inc, (2nd edition) New York, USA.

Rapp, A. O., (2001). Review On Heat Treatments of Wood, Proceedings of Special Seminar Held in Antibes, France.

Rapp, A.O. ve Sailer, M., (2001). Oil heat treatment of wood in Germany – State of the art. In: Review on heat treatments of wood. COST Action E22, Environmental optimisation of wood protection. Proceedings of the special seminar held in Antibes, France, on 9 February, Forestry and Forestry Products, France.

Roberto L.A., Michael A.P., ve Sandford T.C., (2004). Fiber reinforced polymer composite–wood pile interface characterization by push-out tests Journal of Composites for Construction, 8 (4): 360-368.

Roffael, E. ve Schaller, K., (1971). The Influence of Thermal Treatment on Cellulose. Holz als Roh-und Werkstoff. Vol. 29:275-278.

Rowel, R., (1984). The Chemistry of Solid Wood, Advances in Chemistry 207, American Chemical Society, Washington, DC.

Rusche, H., (1973). Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200°C, Part I, Strength of Dried Wood After Heat Treatment, Holz Roh-u, Werkstoff, Vol: 31, pp. 273-281.

Santos, J. A., (2000). Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. Wood Science and Technology. 34, 39-43.

Schneider, A., (1971). Investigation on the influence of heat treatment in the temperature range 100-200°C on the modulus of elasticity, Holz Roh-u, Werkstoff, 29(11): 431-440.

Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., Gerardin, P., (2008). Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives. Holz als Roh-und Werkstoff, 66(3):173-180.

Shafizadeh F. ve Bradbury A. G. W., (1979). Thermal Degradation Of Cellulose İn Air And Nitrogen At Low Temperature. J. Appl. Polym. Sci. 23, 1431-1442.

Sjöström, E., (1993). Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, Second Edition, Academic Press, San Diego-California 92101-4495 USA.

Sözer, M., (2003). Simülasyonlarla Destekli Resin Transfer Kalıplama Metoduyla Kompozit Malzeme Üretimi Kontrolü, TÜBİTAK- MİSAG Projesi (ProjeNo:192), TÜBİTAK Kimyasal Teknolojiler Malzeme ve İmalat Sistemleri Araştırma Grubu, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Steiger, R., (2003). Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures, Wood Department EMPA, Dübendorf, Switzerland, 1-9.

Stevens, W.C. ve Turner, N., (1970). Wood Bonding Handbook, London, England.

Syrjanen, T. ve Oy, K., (2001). Production And Classification of Heat Treated Wood İn Finland, Review On Heat Treatments of Wood. In: Proceedings of the special seminar held in Antibes, France.

Şahin Kol, H., Uysal, B., Altun, S., Kurt, Ş. ve Özbay, G., (2009). Shear strength of heat treated pine wood (*Pinus nigra*) with some structural adhesives, Teknoloji Dergisi, Karabük, 12(1): 63-69.

Şahin, K. H., (2010). Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing, Journal of Environmental Biology, 31(6) 1007-1011.

Şanlı, T., (2008). Sapsız meşe (*Quercus petrea* (Mattuschka) Liebl. subsp. iberica (Steven ex Bieb) Krassiln)'nin bazı teknolojik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkileri, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi.

Şenay, A., (1996). Ahşap Lamine Taşıyıcı Elemanların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tank, T., (1995). Tutkallar ve Tutkallama Tekniği, İ.Ü.Orman Fakültesi, Yüksek Lisans Ders Notu, İstanbul, 29-25.

Togay, A. ve Erdin, E. (2014). Determination of some physical attributes for wooden construction elements strengthened with woven wire fiberglass. BioResources, 9(3): 3883-3900.

TS 2071, (1983). Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini T.S.E. Standardı, Ankara.

TS 2470, (1976). Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler T.S.E. Standardı, Ankara.

TS 2472, (1976). “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini”, TSE Standardı, Ankara, 1-12.

TS 2474, (1976). Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.

TS 2478, (1976). Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TS 2595, (1977). Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.
- TS 4084, (1983). Odunda radyal teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.
- TS 4086, (1983). Odunda Hacimsel Şişmenin Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.
- Tsai W. S., Hoa, S. V. ve Gay, D., (2003). Composite materials design and applications, Textbook, CRC Press LLC, Paris, 28-33.
- Ulupınar, M., (1998). Lamine edilmiş melez Kavak (*Populus Euramericana*)'ın teknolojik özelliklerinin tespiti, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ünal, O., (2010). Yapı Malzemesi Kompozit Malzemeler Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon, 1-22.
- Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT), (2001). Reaction mechanisms of modified wood during 10/1999–6/2001, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland.
- Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A., ve Viitaniemi, P., (1994). "The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce", IRG/WP/40032 Annual Meeting, Indonesia, Section 4,1-4.
- Vital, B, R. ve Lucia, R, M, D., (1983). Effect of Heating on Some Properties of Eacalyptus Saligna Wood, Revista-Arvore, Vol: 7(2):136-146.
- Vital, B, R. ve Lucia, R., M, D., (1982). Effect of heating on dimensional satability and hygrosopicity of wood, Revista Arvore, 6(2): 150-161.
- Waldemar, J, H. ve André, J. M. J., (2004). Wood Modification Developments, Heron, 49(4).
- Yaltırık, F., (1988). Dendoroloji I, 2410, İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, 165-168.
- Yıldız, S., (2002). Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını Ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel Teknolojik ve Kimyasal Özellikleri,, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Youngquist, J. A., Laufenberg, T. L., ve Bryant, B. S., (1984). End Jointing of Lamineted Veneer Lumber for Structural Use, Forest Products Jour. 34: 11-12.

ÖZGEÇMİŞ

Bireysel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Ercan ÇİĞDEM
Doğum Tarihi ve Yeri : 20/09/1978 İNEGÖL
Uyruđu : T.C
Medeni Durumu : EVLİ

İletişim Adresleri

Adres : Mahmudiye Mh. 3Mobilya Sk. No:9 İnegöl / Bursa
Gsm : 0(533)342 53 09
E-Posta : ercan.cigdem.1605@gmail.com

Eğitim Durumu

İlköğretim : İnegöl Şükrünailipaşa İlkokulu
Lise : İnegöl Dörtçelik E.M.L.
Üniversite : DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ SİMAV T.E.F.
Yabancı Dil : İngilizce