

**ISIL İŞLEME MARUZ BIRAKILAN LAMİNE AĞAÇ
MALZEMENİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

İsa BAŞTUĞ

**ISIL İŞLEME MARUZ BIRAKILAN LAMİNE AĞAÇ MALZEMENİN BAZI
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

İsa BAŞTUĞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2010

İsa BAŞTUĞ tarafından hazırlanan “ISIL İŞLEME MARUZ BIRAKILAN LAMİNE AĞAÇ MALZEMENİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/ 06/ 2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)

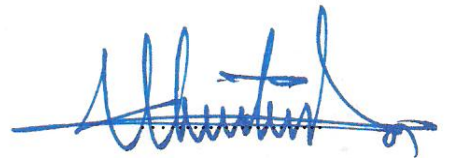


.../.../2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


İsa BAŞTUG

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISIL İŞLEME MARUZ BIRAKILAN LAMİNE AĞAÇ MALZEMENİN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İsa BAŞTUĞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Haziran 2010, 62 sayfa

Bu çalışmada, ağaç işleri endüstrisi ve mobilya üretiminde birçok kullanım alanı bulan sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) odunu kullanılmıştır. Lamine malzemelerin yapımında kullanılacak olan kaplamalar, 5 mm kalınlığında, 70 mm genişlik ile 400 mm uzunluğunda kesme yöntemiyle hazırlanmıştır. Deney örnekleri 4 farklı sıcaklık (110 °C, 130 °C, 150 °C ve 170 °C) ve 3 farklı süre (2- 4- 6 saat) olmak üzere toplam 12 farklı kombinasyonda ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Örnekler fenol formaldehit tutkalı ile 4 katlı olacak şekilde 120 °C sıcaklıkta, 2,5 kg/cm² pres basıncı altında 15 dakika preslenerek lamine ağaç malzemeler elde edilmiştir.

Deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci, dinamik eğilme (şok direnci), eğilme direnci değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri $64,38 \text{ N/mm}^2$ ve en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri $10977,04 \text{ N/mm}^2$ olarak $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 6 saat süre ile bekletilen deney örneklerinde olduğu ve kontrol grubu örneğine göre artış olduğu tespit edilmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri $89,92 \text{ N/mm}^2$ olarak kontrol grubu örneğinde, en yüksek dinamik eğilme (şok direnci) değeri $2,04 \text{ kN/cm}^2$ olarak kontrol grubu örneğinde, en yüksek liflere paralel çekme direnci değeri $9631,15 \text{ N/mm}^2$ olarak kontrol grubu deney örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Deney örneklerinin mekanik özelliklerinde ortalama %7-%36,6 arasında düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Isıl işlem, lamine ağaç, mekanik özellik, ağaç malzeme, sarıçam

Bilim Kodu : 626.27.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF SOME MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED WOOD MATERIAL EXPOSED TO HEAT TREATMENT

İsa BAŞTUĞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

June 2010, 62 pages

In this study, scots pine wood (*Pinus Sylvestris* L) which many using areas in furniture production and wood working industry was used. The veneers was used to produce laminated material, which is 5 mm thick, 70 mm wide and 400 mm length was prepared by cutting method. Testing samples were applicated 12 different combination of heat treatment in 4 different heat (110 °C, 130 °C, 150 °C, 170 °C) and in 3 different periods (2- 4- 6 hours). The samples that are applied heat treatment were transformed to 4 layered laminated material that is joined with phenol formaldehyde resin, in 120 °C heat, pressed 15 minutes under the pressure of 2,5 kg/cm².

The mechanical properties; compression strength parallel to the grain, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) rates of the testing samples were tested.

As a result, some decreases were obtained in static bending (MOR), dynamic bending, tension strength parallel to the grain. However an increase was obtained in modulus of elasticity in bending (MOE) and compression strength parallel to the grain.

Key Words : Heat treatment, laminated wood, mechanical properties, wood material, scots pine

Science Code : 626.27.01

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Doç. Dr. Ayhan ÖZÇİFCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyelerinden hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih YAPICI, Sayın Yrd. Doç. Dr. Şeref KURT, Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyleerin yapılmasında kullanılan tutkalın temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Polisan boya ve tutkal fabrikasından Sayın Ahmet ATEŞ'e, ve tez yazımı sırasında yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Sayın Bilal YUCA'ya, deney örneklerinin hazırlanması ve deneyleerin yapılması sırasında laboratuvar ve malzeme imkanlarından yararlandığım Karabük Teknik Eğitim Fakültesinin bütün personeline teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedenden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
BÖLÜM 2.	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. ÇALIŞMANIN AMACI	3
2.2. SARIÇAM (<i>Pinus Sylvestris</i> L.)	3
2.2.1. Sarıçam Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2.1.1. Sarıçam Odunun Anatomik Özellikleri	3
2.2.1.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	4
2.2.1.3. İşlenme ve Kurutma Özellikleri	4
2.2.1.4. Dayanıklılık ve Emprenye Edilme Özellikleri	4
2.2.1.5. Kullanım Yerleri	5
2.3. LAMİNASYON TEKNİĞİ	5
2.3.1. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi	6
2.3.2. Laminasyonun Yararları	7
2.3.3. Laminasyonun Sakıncaları	8

2.3.4. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları.....	9
2.3.5. Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Kullanım Yerleri.....	9
2.4. ISIL İŞLEM YÖNTEMİ	10
2.4.1. Isıl İşlemden Dolayı Odunda Meydana Gelen Fiziksel Değişimler	11
2.4.1.1. Kütle Kaybı	11
2.4.1.2. Boyutsal Stabilizasyon.....	13
2.4.1.3. Higroskopik Özelliklerdeki Değişim	14
2.4.2. Isıl İşlemden Dolayı Odunda Meydana Gelen Mekanik Değişimler	16
2.4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü	16
2.4.2.2. Çatlaklar	18
2.4.2.3. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	19
2.5. YAPIŞMA TEKNİĞİ VE TUTKALLAR.....	21
2.5.1. Tutkal Çeşitleri ve Kullanım Alanları	22
2.5.2. Yapışma	23
2.5.2.1. Adezyon Kuvveti.....	24
2.5.2.2. Kohezyon Kuvveti.....	24
2.5.3. Pratikte Yapışma	25
BÖLÜM 3.	26
MATERYAL VE METOT.....	26
3.1. MATERYAL	26
3.1.1. Ağaç malzeme	26
3.1.2. Yapıştırıcı.....	26
3.2. METOT	27
3.2.1. Lamine Malzemelerin Üretimi	27
3.2.2. Tam Kuru Yoğunluk.....	28
3.2.3. Hava Kuru Yoğunluk	28
3.2.4. Denge Rutubeti.....	29
3.2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Özelliklerini Belirlemedeki Deneyler.....	29
3.2.5.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Deneyi.....	29
3.2.5.2. Liflere Paralel Basınç Direnci Deneyi	31
3.2.5.3. Dinamik Eğilme (Şok Direnci) Deneyi.....	32

Sayfa

3.2.5.4. Liflere Paralel Çekme Direnci Deneyi.....	33
3.2.5.5. Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi.....	32
BÖLÜM 4.	35
BULGULAR	35
4.1. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	35
4.1.1. Eğilme Direnci	35
4.1.2. Elastikiyet Modülü	38
4.1.3. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	41
4.1.4. Dinamik Eğilme (Şok) Direnci	45
4.1.5. Liflere Paralel Çekme Direnci	49
BÖLÜM 5.	52
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	52
BÖLÜM 6.	56
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.	56
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi	6
Şekil 2.2. Yatay ve dikey lamine elemanlar	7
Şekil 2.3. Liflere paralel basınca maruz kalan lamine katların düzenlenmesi	7
Şekil 2.4. Isıl işlem diyagramı	10
Şekil 3.1. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneyi.....	30
Şekil 3.2. Liflere paralel basınç direnci deneyi	31
Şekil 3.3. Dinamik eğilme (şok direnci) deneyi	32
Şekil 3.4. Liflere paralel çekme direnci deneyi	34
Şekil 4.1. Eğilme direnci değerlerinde ısıl işlemde dolayı oluşan değişim.....	38
Şekil 4.2. Elastikiyet modülü değerlerinde ısıl işlemde dolayı oluşan değişim	41
Şekil 4.3. Basınç direnci değerlerinde ısıl işlemde dolayı oluşan değişim	45
Şekil 4.4. Şok direnci değerlerinde ısıl işlemde dolayı oluşan değişim	48
Şekil 4.5. Liflere paralel çekme direncinde ısıl işlemde dolayı oluşan değişim	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	4
Çizelge 2.2. Direnç hesabında düzeltme katsayısı.....	6
Çizelge 2.3. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları	22
Çizelge 2.4. Direnç özelliklerine göre tutkalların sınıflandırması.....	23
Çizelge 4.1. Eğilme direnci değerleri.....	35
Çizelge 4.2. Eğilme direnci çoklu varyans analizi sonuçları	36
Çizelge 4.3. Eğilme direnci duncan testi sonuçları.....	37
Çizelge 4.4. Elastikiyet modülü değerleri	39
Çizelge 4.5. Elastikiyet modülü değerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	40
Çizelge 4.6. Elastikiyet modülü duncan testi sonuçları	40
Çizelge 4.7. Liflere paralel basınç direnci değerleri.....	42
Çizelge 4.8. Basınç direnci değerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	43
Çizelge 4.9. Liflere paralel basınç direnci duncan testi sonuçları	44
Çizelge 4.10. Dinamik eğilme (şok direnci) değerleri.....	46
Çizelge 4.11. Dinamik eğilme (şok direnci) değeri varyans analizi sonuçları.....	47
Çizelge 4.12. Dinamik eğilme (şok direnci) duncan testi sonuçları	47
Çizelge 4.13. Liflere paralel çekme direnci değerleri.....	49
Çizelge 4.14. Liflere paralel çekme direnci değeri varyans analizi sonuçları	50
Çizelge 4.15. Liflere paralel çekme direnci duncan testi sonuçları.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- (Å) : Angstrom
H₂ : Hidrojen
C : Karbon
A : Alan
β : Beta
δ₁₂ : %12 rutubetteki özgül ağırlık
δ_r : %r rutubetteki özgül ağırlık
r : Örnek rutubeti
δ₀ : Tam kuru özgül ağırlık
M₀ : Tam kuru ağırlık
V₀ : Tam kuru hacim
σ_{//B} : Liflere paralel basınç direnci
F_{max} : Maksimum yük
a x b : Teğet ve radyal kenar uzunluğu
F : Uygulanan kuvvet
σ_E : Eğilme direnci
σ_{c//} : Liflere paralel çekme direnci
a : Dinamik eğilme (şok) direnci
E.mod: Elastikiyet modülü

KISALTMALAR

- ASTM : American Society for Testing and Materials
BVA : Basit Varyans Analizi
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
DRM : Denge Rutubet Miktarı
EN : Avrupa Normu
ISO : International Organization for Standardization
TS : Türk Standardı
VTT : Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. GİRİŞ

Ağaç malzemenin kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı iyi bir yalıtıcı olması, renk ve estetik özellikleri, çelik ve betonla karşılaştırıldığında çok yüksek yorulma direnci, yangına karşı dayanımının iyi olması nedeniyle ağaç malzemeye talep her geçen gün artmaktadır. Orman alanlarının plansız ve bilinçsizce yapılan aşırı tüketimleri sonucunda hızla yok olması ve tahrip edilmesi, ahşap malzemenin daha verimli kullanımını zorunlu kılmıştır (Akgün 2008).

Ağaç malzemenin büyük boyutlu ve kavisli elemanlarda tek parçalı olarak kullanılması, özellikle teknik açıdan elverişli değildir. Çünkü ağaç malzemede bulunan budak, çürük, çatlak, lif kıvrıklığı (spiral liflilik) v.b. kusurların tamamen giderilmesi mümkün görünmemektedir. Kavisli elemanların üretiminde ağaç malzemenin tek parçalı olarak kullanılması fire oranını arttırdığından ekonomik değildir. Ayrıca, eğri forma göre kesilen masif ağaç malzemede diyagonal liflilik oluşacağından direnç özelliklerinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Akgün 2008).

Masif ağaç malzemenin verimli kullanılabilmesi, kusurların giderilmesi, eğri formlu imalatlarda diyagonal lifliğin oluşmaması ve direnç özelliklerinin azalmaması için laminasyon tekniği uygulanması gerekmektedir. Laminasyon yöntemi kullanılarak ahşap malzemenin kusurlarından arındırılması imkanı sağlanmakta ve üretilen malzemenin teknik özellikleri ağaç malzemedeki gibi olmaktadır. Lamine ağaç malzeme özellikle yapı endüstrisinde (ahşap tekne, köprü, konut, fabrika, cami, silo, baraka v.b.) ve mobilya endüstrisinde kullanılmaktadır (Akgün 2008).

1.2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kullanım yerlerindeki nem miktarının odunun direnci üzerinde önemli bir etkisi vardır. Odunun rutubetindeki değişim, anizotropik şişme ve daralmayla birlikte meydana gelen higroskopik değişimler sorun yaratmaktadır. Problem oluşturan boyutsal stabilizasyonun yanında, biyolojik saldırılar gibi rutubetle ilgili problemler de olabilmektedir. Mantar ve bakteriler yaşamlarını sürdürebilmek için suyun varlığına ihtiyaç duyarlar. Rutubet oranı %20'nin altında tutulduğunda mantar ya da bakterilerin yaşamları için su miktarı yeterli olmamaktadır. Bu yüzden mantar ve bakterilerden ahşap materyali korumak için emprenye çok sık kullanılan bir yoldur. Bu metotların dezavantajı ise toksin maddelerin kullanılmasıdır. Bu koruyucular ağacın çalışmasını engelleyemez. Fakat kimyasal olarak odunu kararlı hale getirir. Bu durumda da emprenye işlemleri çok pahalı bir hal almaktadır (Akgün 2008).

Odunun ısıtma işlemi tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından yapılmıştır. Bu yöntemde, ahşap malzemeler 180 °C'de su buharının koruması altında ısıtılmaktadır. Su buharının ahşap malzemeyi koruması yanında odundaki kimyasal değişim üzerinde de önemli etkisi vardır. Bu muamele sonucunda çevreye dost olan ısıtma işlemi görmüş ahşap materyal üretilmiş olur. Isıtma işlemi süresince odun renginde farklılaşmalar görülür. Oluşan bu ürün farklı nem ortamlarında normal odundan daha fazla kararlıdır ve termal iletkenliği çok iyidir. Eğer yeterli sıcaklıklarda muamele edilirse ağaç malzemenin çürümeye karşı direnci ciddi oranlarda artmaktadır (Akgün 2008).

Isıtma işlemi yöntemi ve laminasyon yönteminin birlikte kullanılması, lamine edilmiş ahşap malzeme kullanılan yapılarda neme bağlı olarak mantar ve bakterilerin meydana getirdiği fiziksel zararlardan korunması açısından önemlidir. Ayrıca, nem içeriğindeki değişim, anizotropik şişme ve daralmayla birlikte meydana gelen higroskopik değişimlerin olumsuz etkilerinden korunması ve emprenye malzemeleri gibi toksin madde içermeyip tümüyle doğal bir yöntem oluşu nedeniyle tercih edilmelidir (Akgün 2008).

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesinde yaygın olarak yetişen sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ağacından elde edilen 5 mm kalınlığındaki parçaların ısıtma işlemi uygulandıktan sonra fenol formaldehit tutkalı kullanılarak, pres basıncı altında 20 mm kalınlıkta ve 4 katmanlı olarak hazırlanan lamine ağaç malzemenin bazı mekanik özellikleri kontrol örnekleri ile mukayese edilmiştir. Bu sayede ısıtma işlemine maruz bırakılan lamine ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2.2. SARIÇAM (*Pinus Sylvestris* L.)

2.2.1. Sarıçam Hakkında Genel Bilgiler

Çamlar, Pinaceae familyasının en önemli cinslerinden biridir. Yıllık halka sayıları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup, açık renkli ilkbahar odunu ile kontrast renk yapar. Taze halde iken reçine kokuludur. Dekoratif bir görünüşü vardır. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıktadır (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.2.1.1. Sarıçam Odununun Anatomik Özellikleri

Makroskopik Özellikleri

Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı ile kırmızımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarıdır. Reçinelidir. Yıllık halka sınırları belirgin ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş tedrici bazen anidir. Ladin melezden daha büyük çapta olan reçine kanalları lup altında görülebilir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Mikroskopik Özellikleri

Traheidler 1800-4500 μm uzunlukta, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş oldukça ani, ilkbahar odununda radyal çeperler üzerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır. Boyuna paranzim bulunmaz. Öz ışınları heterojen tek sıralı olup reçine kanalı ihtiva eder öz ışınları kısmen 2-5 sıralıdır. Karşılaşma yerlerindeki geçitler pencere tipindedir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.2.1.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çizelge 2.1. Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Fiziksel özellikler	Mekanik özellikler
D_0 : 0,49 g/cm^3	σ_B : 54 N/mm^2
D_{12} : 0,52 g/cm^3	σ_E : 98 N/mm^2
R : 750-850 kg/m^3	E.mod : 11700 N/mm^2
β_r : % 4,0	σ_{φ} // : 102 N/mm^2
β_t : % 7,7	σ_M : 10 N/mm^2
β_v : % 12,4	a : 0,4-0,7 kN/cm^2
	B_S // : 40 N/mm^2
	$B_S \perp$: 19 N/mm^2

2.2.1.3. İşlenme ve Kurutma Özellikleri

İşlenme özellikleri yıllık halka genişliğine ve budaklılığa bağlı olarak değişmektedir. El aletleri ve makinelerle kolay işlenir. Reçine sebebiyle güçlük çıkartabilir. Optimum kesiş hızı 33 m/s 'dir. Kesilebilir, soyulabilir, tornalanabilir, iyi çivi tutar, renk verilebilir, boyanabilir, cilalanabilir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.2.1.4. Dayanıklılık ve Emprenye Edilme Özellikleri

Diri odun mantar ve böceklere karşı oldukça hassas öz odun oldukça dayanıklıdır. Diri odunun emprenye edilmesi kolay, öz odun ise oldukça güç emprenye edilir.

2.2.1.5. Kullanım Yerleri

Binalarda ağaç malzemenin kullanılabilceği her yerde kullanılabilir. Dar yıllık halkalı malzemededen doğramacılıkta yararlanılır. Bundan başka mobilya yapımında kontrplak yapımında, dekoratif amaçlar için kesme kaplama levha üretiminde, tornacılıkta, kimyasal odun hamuru elde edilmesinde kullanılır (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.3. LAMİNASYON TEKNİĞİ

Ağaç işleri endüstrisinde her geçen gün daha yaygın kullanım alanı bulan lamine masif ağaç malzeme, TS EN 386'ya göre; odun lamellerin özellikle lifleri paralel olarak birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Laminasyon tekniğinde; farklı ağaç türü, değişen kat adedi, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir.

Lamine ahşap elemanlar kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadırlar. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lâmine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4-50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş (GLULAM = Glued Laminated Timber) adı verilmektedir. Mobilya endüstrisinde kullanılan küçük boyutlu masif ağaç lamine elemanların üretiminde ise uygulanan forma göre maksimum 3,2 mm kat kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu tür ahşap lamine elemanlar LVL (Laminated Veneer Lumber) ya da MICROLAM olarak adlandırılmaktadır (Stevens and Turner, 1970).

Lamine elemanların üretiminde kullanılacak ağaç malzeme rutubeti son ürünün kullanılacağı ortama bağlı olup, açık ortamda %16-19, kapalı mekanlarda en çok %16 olmalıdır. Islak mekanlarda kullanılması halinde direnç hesabında düzeltme katsayısı kullanılır. Direnç hesabında düzeltme katsayısı Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

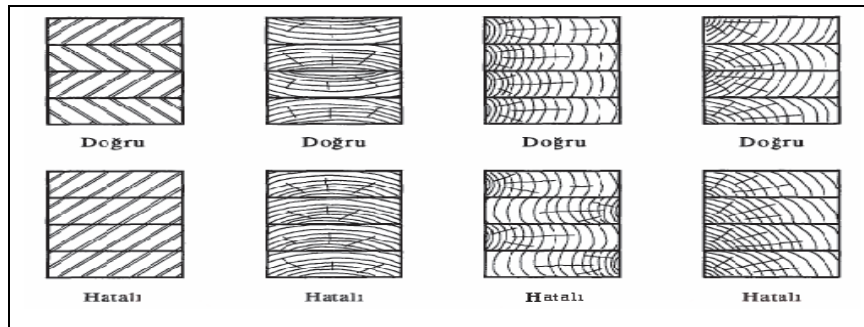
Çizelge 2.2. Islak mekan için düzeltme katsayısı (ASTM D 3110)

Mekanik Özellikler	Düzeltilme Katsayısı
Eğilme Direnci	0.80
Liflere Paralel Basınç Direnci	0,73
Liflere Paralel Çekme Direnci	0,80
Liflere Dik Basınç Direnci	0,67
Liflere Dik Çekme Direnci	0.87
Elâstiklik Modülü	0.83
Yatay Makaslama Direnci	0.87

Lamine elamanı oluşturan katlar arasında rutubet farkı TS EN 386 ve DIN 68140'a göre %4'ü ANSI A 190'a göre %5'i aşmamalıdır. Aksi halde, farklı çalışma şartları sonucu oluşan gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aşarak çatlamlara sebep olabilir.

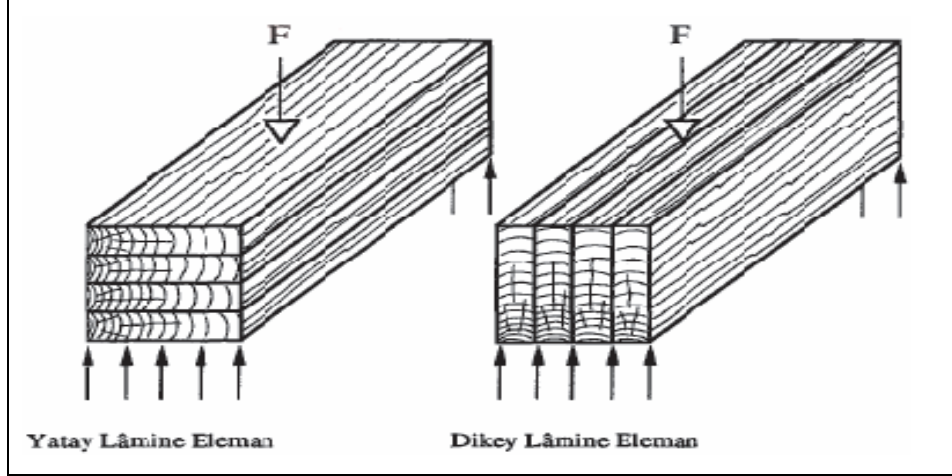
2.3.1. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi

Lamine edilmiş masif ağaç malzeme de biçim değişimleri oluşmaması için lamine katlarının düzenlenmesinde, yıllık halkaların konumuna dikkat etmek gerekmektedir. Bunun sebebi, ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır. Ağaç türlerine göre daralma miktarları, yıllık halkalara teğet yönde %3,5 - 15, radyal yönde %2,4 - 11, liflere paralel yönde %0,1 - 0,9 arasında değişir (Bozkurt ve Göker, 1989). Laminasyonda katların düzenlenmesi Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



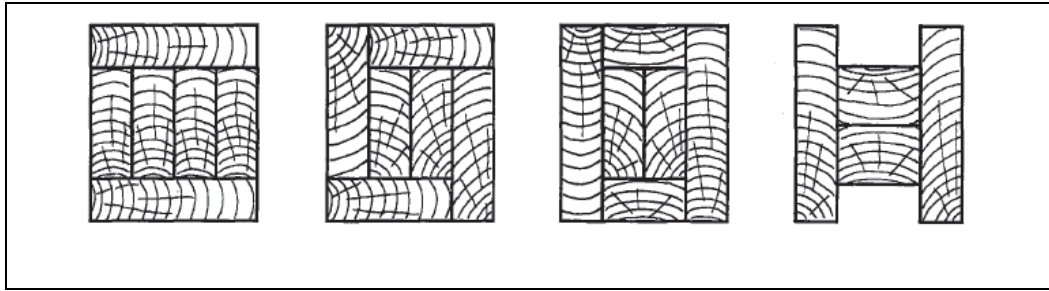
Şekil 2.1. Laminasyonda katların düzenlenmesi (Spannagel, 1974).

Lamine katlarının düzenlenmesinde farklı çalışma sonucu ortaya çıkan gerilmeleri dengeleyecek kat düzenlemesi yapılmalıdır. Aksi takdirde düzeltilemeyen biçim değişimleri meydana gelebilir. Bu maksatla yapılacak kat düzenlemesi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yatay ve dikey lamine elemanlar (Spannagel, 1974).

Liflere paralel basınca maruz kalan lamine katların düzenlenmesi Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Liflere paralel basınca maruz kalan lamine katların düzenlenmesi (Spannagel, 1974).

2.3.2. Laminasyonun Yararları

Lamine ağaç malzemenin yararları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Spannagel, 1974). Masif ağaç malzemedan üretilen elemanların boyutları sınırlı olmasına rağmen,

laminasyon sistemi ile daha büyük boyutlu ürünler elde etmek mümkündür. Özellikle tutkallı kiriş sayesinde büyük açıklıklar kolonsuz geçilebilmektedir.

- Lamine ağaç malzeme üretmek için ince parçalar halinde kesilen ağaç malzeme, imalata girmeden önce kolay ve ekonomik olarak kusursuz kurutulabilmekte, büyük boyutlu ağaç malzemeler ise kısa sürede ve kusursuz kurutulamadığından ek bir kurutma maliyeti gerektirmektedir.

- Mimaride ve iç dekorasyonda istenilen formda çalışma imkânı sağlamaktadır.

- En ve boy birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile çok küçük boyutlardaki (min. 20 cm) ağaç malzeme kullanılabilirdiğinden fire oranı azalmaktadır. Ayrıca, ağaç malzemenin bünyesindeki kusurlarından (budak, çatlak, lif kıvrıklığı, çürüklük, reaksiyon odunu vb.) arındırılarak kullanılmasına imkân sağlamaktadır.

- Lamine edilmiş ağaç malzeme, aynı cins masif ağaç malzemeye göre daha az çalışmaktadır. Bu nedenle boyutsal bakımdan daha stabildir.

- Aynı ağaç lamine eleman üzerindeki lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzeme kullanılabilirdiğinden daha estetik malzeme elde edilebilmektedir (Spannagel, 1974).

2.3.3. Laminasyonun Sakıncaları

Lamine ağaç malzemenin sakıncaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Spannagel, 1974).

- Ağaç malzemenin tutkallanmaya hazırlanması ve tutkallanması, son ürün üzerinde ek bir işçilik maliyeti gerektirmektedir.

- Lamine ürünün direnci, en-boy birleştirmede ve yapıştırımda kullanılan tutkallın kalitesine de bağlıdır. Yüksek dayanımlı tutkalların maliyetinin yüksek olması ek bir maliyet gerektirmektedir.

- Laminasyon imalatının yapılacağı fabrika binasının özel planda yapılması özel ekipmanlar gerektirmesi ve kaliteli elemana olan ihtiyaç ürün maliyetinin artmasına neden olmaktadır.
- Büyük boyutlu kavisli taşıyıcı elemanların nakliyesinde genellikle güçlüklerle karşılaşmaktadır (Spannagel, 1974).

2.3.4. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları

TS EN 386'ya göre, lamine elemanların üretildiği ortamın sıcaklığı en az 15 °C ve bağıl nemi ise %40 - 75 arasında olmalıdır. En ve boy birleştirme uygulanmış parçaların ek yerleri, birbirini takip eden katlarda üst üste gelmemeli ve mümkün olduğunca şaşkırtmalı olarak düzenlenmelidir. DIN 1052 ve DIN 68140'a göre; birbirini takip eden katlardaki birleşmeler arasındaki uzaklık >300 mm olmalıdır. Lamine elemanı oluşturan katlar arasında rutubet farkı %4'den fazla olmamalıdır (DIN 1052 1988, DIN 68140 1998).

Yapıştırıcı üreticisinin tavsiyelerine uygun olarak, yapıştırıcı üniform ve yeterli miktarda sürülmelidir. Bu miktar kullanılan yapıştırıcının özelliklerine göre 180-350 g/m² arasında değişmektedir. Sıkıştırma üniform ve emniyetli olarak yayacak şekilde yapışma hattı üzerinde uygulanmalıdır. Pres basıncı, kullanılan yapıştırıcı ve ağaç türüne göre 0,6 – 1,2 N/mm² arasında değişmektedir (TS EN 386 1997). Ayrıca özel amaçlı kalıplarda kullanılan yüksek sıcaklıklı ve basınçlı preslerde laminasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

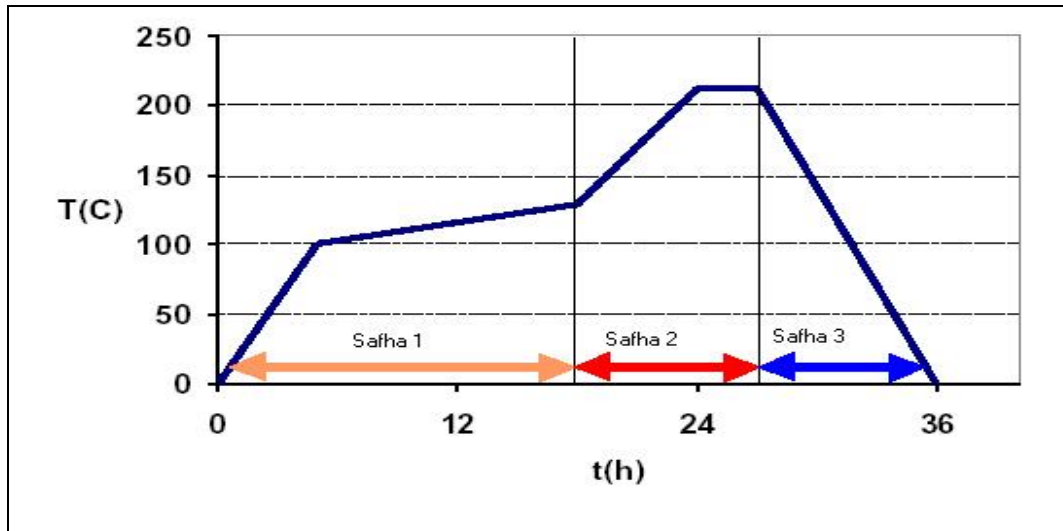
2.3.5. Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Kullanım Yerleri

Arzu edilen biçim ve formda üretilebilmesi, büyük boyutlarda tek parça olarak elde edilebilmesi, estetik olması, bakım kolaylığı, montaj süresinin kısalığı ve ekonomik olması nedeniyle özellikle yapı endüstrisinde (ahşap tekne yapımı, spor ve eğlence tesisleri, fabrika, konut, cami, silo, köprü yapımı vb.) geniş kullanım alanına sahiptir.

Lamine ağaç malzeme mobilya endüstrisinde de geniş kullanım alanına sahiptir. Özellikle döşemeli mobilyaların mukavemet gerektiren iskelet elemanlarında, oturma odası, çalışma odası, yemek odası, yatak odası ve genç odası mobilyalarının üretiminde lamine edilmiş ağaç malzemeler tercih edilmektedir.

2.4. ISIL İŞLEM YÖNTEMİ

Ağaç malzemenin endüstriyel ölçekte ısıl işlem uygulaması Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından geliştirilmiş olan “ThermoWood” olarak adlandırılan bir yöntemdir. ThermoWood üretim işlemi 3 kademe gerçekleştirilmektedir. ThermoWood üretim işlemi Şekil 2.4.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Isıl işlem diyagramı (Mayes and Oksanen 2002).

Kademe 1 (Kurutma Fazı); Isıl işlemde en fazla zaman alan fazdır. Bu faz ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma fazının başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlamların olmaması önemlidir. Sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C'ye çıkarılır, daha sonra yavaşça 130 °C'ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ahşapta çatlakları önlemek için, ahşaba ön koruma amaçlı su buharı tatbik edilir. Nem miktarı hemen hemen sıfıra indirilir.

Kademe 2 (Isıl-İşlem Fazı); Birinci evreyi takiben ısıl işlem uygulama seviyesine bağlı olarak sıcaklığın 185–215 °C'ye kadar yükseltilebildiği kapalı odalarda yapılmaktadır. Yanmasını engellemekte kullanılan gaz (Nitrojen) hem odunun korunmasında hemde odunda gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır. Isıl işlem 2–3 saat içerisinde gerçekleşmektedir.

Kademe 3 (Kondisyonlama); Odun ısıl işlemden sonra bir kontrol yolu olarak soğutulur. Burada odun ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklığın sebep olabileceği çatlamalardan dolayı bu basamak titizlikle takip edilmelidir. Uygulama sıcaklığına ve keresteye bağlı olarak kondisyonlama 2–5 saat arasında yapılabilir.

Isıl işlem süresince kullanılan enerjinin %80'i 1. Kademede Kurutma için kullanılmaktadır. Bu kullanılan enerji klasik kereste kurutma uygulamasında kullanılan enerjinin sadece %25'ini oluşturmaktadır. Ayrıca ısıl işlem yönteminde hiçbir kimyasal gerektirmeyip sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır (Mayes and Oksanen 2002).

2.4.1. Isıl İşlemden Dolayı Odunda Meydana Gelen Fiziksel Değişimler

2.4.1.1. Kütle Kaybı

Odunun ısıtılması; uygulama metodu, sıcaklık ve maruz zamanına bağlı olarak odunun hacminde ve kütleinde düşüğe sebep olur (Rusche 1973, Fung et al. 1974). Isıl işlem ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalmasıyla görülen odun yapısındaki suyun kaybı, hücre çeperindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Fengel and Wegener,1989).

Düşük sıcaklıkta ısıl işlem uygulama, uçucu ve bağlı suyun kaybıyla düşük kütle kaybına sebebiyet verir. Makro moleküler bileşiklerin kaybı 100 °C sıcaklığın üzerinde gerçekleşir ve ilerleyen zaman ve sıcaklıklar kütle kaybını olumsuz etkilemektedir. Hücre duvarındaki materyallerin kaybı, eğer uygulama optimum

olmazsa fazla oranlarda büzülme oluşunu gerçekleşebileceğinden odunun boyutsal değişiminde rolü olabilir (Millet and Gerhards, 1972). Termal işlemden dolayı odunun hacimsel olarak daralması, kütle kaybıyla arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, boyuna yöndeki önemsiz artışın, radyal ve teğet daralmanın sebep olduğu strese katkısının bulunduğu ve ısıl muameleye maruz kalmış örneklerde teğet yn, radyal ynle karşılaştırıldığında daha fazla daraldığı belirlenmiştir (Chang and Keith, 1978). Ayrıca 170 °C sıcaklıkta Douglas gknarının ısıl işlemi süresince 30 saatlik ısıtılmadan sonra kütle kaybı kinetik düzenine göre gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durumda bağlı suyun buharlaşmasından dolayı ilk kütle kaybında sebep olduğu bulunmuştur. Termal degradasyondan dolayı kütle kaybı, hava ortamında ısıtma yapılırken daha yüksektir (Mitchell 1988). Ayrıca hava ortamında termal degradasyondan dolayı oluşan kütle kaybı (100–200 °C sıcaklıklarda) vakum yada Nitrojen altında ısıtılan odun örneklerinde olduğundan daha yüksek olmaktadır. Kuru ve nemli şartlar altında bir reaktörde 300 °C’de odun örnekleri ısıtıldığında, su varlığında kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği bulunmuştur. Fakat toplam kütle kaybı hem kuru ve hemde nemli şartlarda aynı değerde (%55) stabil bir hal aldığı belirlenmiştir (Rusche, 1973).

Termal degradasyonun nemli şartlar altında kuru şartlara göre daha fazla gerçekleştiği belirlenmiştir. Termal işlemden dolayı oluşan kütle kaybı, hidro yada hidrotermal uygulama kullanıldığı zaman daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun yanında hidrotermal muamele ısıtılmış buhar muamelesiyle karşılaştırıldığında ağırlık kaybı oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapraklı ağaçlar (YA) genellikle, belirli şartlar altında ısıtıldığında. İğne yapraklı ağaçlardan (İYA)’dan daha yüksek kütle kaybı gösterirler. am ve kayının kütle kaybının 200 °C de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat direnç kayıpları sadece kütle kaybına ve tür özelliklerine bağlıdır.

Ladinin kayına göre termal olarak daha stabil olduğu, ısıtma süresince oluşan kütle kaybı değerlerinden belirlenmiştir (Schneider and Rusche, 1973). 200 °C sıcaklıkta kuru şartlar altında kesikli ve sürekli ısıtma yapılarak iki yöntem karşılaştırılmış ve sonuçların ısıtma zamanıyla yakından ilgili olduğu görülmüştür. Isıl muamele sonucunda soğutma yapılması odunun yapısını etkili bir şekilde dengeleyen bir

periyot olduğu ve böylece ısı işlem süresince kristallikte fazla oranlarda değişimin olması engellenebilmektedir (Bhuiyan et al, 2001).

2.4.1.2. Boyutsal Stabilizasyon

Boyutsal stabilizasyondaki artış, termal olarak modifiye olmuş odunda elde edilebilmektedir. Fakat gözlenen etkiler ısıtma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda boyutsal stabilizasyonun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, sadece ısı işlemiyle sağlanabileceği sonucuna varmışlardır (Yıldız, 2007).

İğne yapraklı ağaç (İYA) örneklerinin su itici etkinlik değerleri hem muamele sıcaklığı hemde zamanına bağlı olarak değişmektedir. Üç farklı iğne yapraklı ağaç (İYA) türü üzerinde çalışılmış ve benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir. Su itici etkinlikteki değişimlerin belli bir kinetiği olduğu belirlenmiştir. Isıl işlemden sonra elde edilen su itici etkinlikteki artış, ısıtmadan dolayı oluşan ağırlık kaybına karşı oluşan değişimler asimtatik bir ilişkiyi takip ettikleri gözlenmiştir. Ağırlık kaybı %20'ye yaklaştığında su itici etkinlik değeri maksimuma ulaşır. Fakat elde edilen sonuçlar hava varlığında değişir ve daha düşük su itici etkinlik değerlerinin havasız ortamda elde edildiği bulunmuştur. 165 °C'den 205 °C'ye değişen sıcaklıklarda kuru odunun ısıtılması, su itici etkinlikteki düşüş 6 saat ya da daha fazla sürede olduğu bulunmuştur. Fakat, odunun su varlığında ısıtıldığı zaman, odunun yapısında su kaybına sebebiyet veren termal degradasyonları önlediği bulunmuştur. Hava ortamında ısıtılmış (yumuşak atmosfer) odunlarla karşılaştırıldığında su itici etkinlikte ciddi düşüşler meydana geldiği görülmüştür (Rusche, 1973).

Boyutsal stabilizasyondaki değişim kullanılan işlem atmosferine bağlı olarak ciddi oranda değiştii gözlenmiştir. Odun örnekleri 300 °C'de hava yada nitrojen ortamında ısıtılmış ve ağırlık kaybının %20 olduğu noktada, boyutsal stabilizasyon maksimuma ulaştii belirlenmiştir. Bu ağırlık kaybının yanında boyutsal stabilizasyondaki artış kapalı sistemlerde daha fazla gerçekleştiği bulunmuştur. Boyutsal stabilizasyon açık sistemlerde nitrojen ortamında yapıldığında kütle kaybı %20'yi geçtiği zaman değişim görülmemiştir. Fakat örnekler yine açık sistemlerde

hava ortamında ısıtıldığında boyutsal stabilizasyonda düşüşler gözlenmiştir. Konsantre olmuş sıvı sodyum hidroksit, morp haline ya da primidin de modifiye olmuş odunun şişmesi, modifiye olmamış oduna göre aynı seviyede yada daha yüksektir. Ancak odunun suda şişmesi düşmektedir. Bu elde edilen verilerden boyutsal stabilizasyondaki artışın, termal modifikasyon süresince eter çapraz bağlarının oluşumunun ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ligninde çapraz bağ oluşumu, termal olarak modifiye olmuş odunun boyutsal stabilizasyonunda bir gelişme sağlayan faktörler arasında olmayabileceği düşündürmektedir (Burmester, 1973). Hemiselülozun kaybolması ısı işlem görmüş odunun boyutsal stabilizasyonuna en büyük katkıyı sağladığını göstermiştir. Isıl işlem sonucunda boyutsal stabilizasyondaki değişime katalizlerin etkileri araştırılmış ve kataliz ($ZnCl_2$ ya da $NaCl$) varlığında ve yokluğunda açık bir sistemde ısı işlemin sonucu olarak odunun boyutsal stabilizasyonu çalışılmıştır. Sonuçta, kataliz olmayan termal muamele de, ağırlık kaybı ve boyutsal stabilizasyon %16 oluncaya kadar ilişkilidir. Daha sonra, boyutsal stabilizasyonda düşme başlar. Her iki kataliz varlığındaki işlem durumundaki bu ilişki %10 ağırlık kaybından sonra kaybolmaktadır (Stam and Baechler 1960).

Isıl işlem sonucunda boyutsal stabilizasyondaki gelişmelerin türlere bağlı olduğu ve radyal yöndeki çalışmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun anatomik farklılıklarından dolayı olduğu belirlenmiştir. Yapılan birçok araştırmada özellikle 100-230 °C arasındaki sıcaklıklarda ve 2-48 saat süreli ısı işlem uygulamasıyla, kayın, kızılâğaç, meşe, okaliptus, kavak, sarıçam, fin çamı, akçaağaç, huş, ladin, göknar gibi ağaç türlerinde meydana gelen boyutsal stabilite değişiklikleri incelenmiş ve sonuçta genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak %55–90 varan bir boyut stabilizasyonu sağlanmıştır (Feist and Sel, 1987).

2.4.1.3. Higroskopik Özelliklerdeki Değişim

Odunun higroskopik özellikleri, termal modifikasyonun sonucu olarak düşer, bu düşüş zaman ve uygulama sıcaklığıyla ilgilidir. 300 °C'de hava ortamında termal

olarak modifiye edilen çamın %90 bağıl nemdeki denge rutubet oranı değeri 1 saatlik ısıtma işlemi yapıldığında, ısıtma işlemi görmemiş oduna göre daha düşüktür. Isıtma işlemi nitrojen altında yapıldığında, termal olarak işlem edilmiş odunun sorpsiyon kapasitesi 60 dk. Isıtma zamanından sonra düşmüş ve daha sonra değişmemiştir.

Hava varlığında ve yokluğunda termal işlem görmüş odunun sorpsiyon davranışı, ısıtma işlemi zamanı ve sıcaklığı artarken odun örneklerinin sorpsiyon kapasitesinin düştüğü belirlenmiştir. Fakat örnekler 200 °C'de hava ortamında ısıtıldığı zaman kütle kaybı yaklaşık %20 olduğunda ilerleyen ısıtma periyotlarında (Kayın için 24 saat. ve Ladin için 48 saat.) tekrar artmaya başladığı belirlenmiştir (Rusche, 1973). Isıtma işleminden dolayı nispi kütle kaybı ve sorpsiyon kapasitesindeki düşüş hava ortamındaki termal işlemde daha fazla olmuştur. Kayın odunu, Ladinle karşılaştırıldığında sorpsiyon davranışında ciddi bir düşüş görülmüştür. Nitrojen ve hava akımı altında 15 saatte ve 300 °C'de Douglas göknarı ısıtılmış ve 10 saatlik periyotlar süresince %90 ve %30 bağıl nemdeki örneklerin denge rutubet oranı belirlenmiştir. Belirlenen ilk periyotlardaki denge rutubet oranı değerleri, ısıtma işlemi görmemiş odunla karşılaştırıldığında düşük olmasına rağmen, bu değerler her periyotta daha da düşmüş ve hava ortamında ısıtılan odunun denge rutubet oranı değerleri 5. periyottan sonra ısıtma işlemi görmemiş odundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu davranış sonucunun da odunda sadece sınırlı değerlerde olduğu görülmüştür (Schneider, 1973).

Dört farklı yapraklı ağaç (YA) türü hava ortamında 220 °C'de 2 saat süreyle ısıtıldığı zaman Denge Rutubet Miktarı (DRM) değerlerinin modifiye olmamış kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında %50 azaldığı tespit edilmiştir. (Keith and Chag, 1978). Termal işlem görmüş odunun ıslanabilirliği, modifiye olmuş odunun hidroksil içeriğinde düşüşten dolayı düşmüş ve bunun hemiselülozun uzaklaşması degradasyonunun sonucunda odunun hücre duvarında önceliği olan sorpsiyon alanlarının (OH⁻ grupları) sayılarındaki düşüşle ilgili olan sorpsiyon kapasitelerindeki düşüşten dolayı olduğu düşünülmektedir (Spannagel, 1974). 60 °C'den 200 °C'ye değişen sıcaklıklarda deney örneklerini 1 saat bekletmede, ısıtma işlemi sıcaklığı artarken (modifiye olmamış odun için 65 °C'den 145 °C ve 200 °C'ye ısıtma için) temas açısının önemli derecede arttığı bulunmuştur. Düşük sıcaklıklardaki

ıslanabilirlik değişimleri yüzeye lipofilik ekstraktiflerin taşınmasında katkısı olduğu ifade edilmektedir. Buna karşın daha yüksek sıcaklıklar makro moleküler hücre duvarı değişimleriyle sonuçlanıp ve OH⁻ içeriğinde bir düşüşün meydana geldiği belirtilmektedir (Repellin and Guyonnet, 2005).

2.4.2. Isıl İşlemden Dolayı Odunda Meydana Gelen Mekanik Değişimler

Termal işlem süresince gerek odun içerisinde gerekse yüzeylerde meydana gelen çatlaklar ve yarılmalar ahşap materyalin direncinde ciddi sorunlara yol açmakta ve bu durumda mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda oluştuğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok odun bileşenini tahrip eder ve bunun sonucunda kütle kayıpları meydana gelir. Kütle kayıpları sonucunda özgül kütlenin düşüşü diğer özgül kütleyle bağlı olan mekanik özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir (Repellin and Guyonnet, 2005).

2.4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Odunun direnci sıcaklıkla birinci dereceden ilgilidir. Dirençteki lineer düşüşler -200 °C'den 160 °C'ye doğru değişen sıcaklıklardaki artışlarda daha net gözlenebilmiştir. Isının odun üzerinde etkileri 2 tipte toplanabilir.

- Artan sıcaklıkla oluşan ani etkiler.
- Odun polimerlerinin termal parçalanmasına neden olan kalıcı etkiler.

Isıyla oluşan ani etkiler düzeltilebilir. Fakat kalıcı etkiler düzeltilemez. Ani ve kalıcı etkilerin birleşimi daha fazla zarar meydana getirir. Sıcaklık 55–65 °C'de ilerleyen periyotlarda (2–3 ay) selüloz ve hemiselülozun depolimerizasyonu yavaşça baş gösterir (Feist et al. 1973, Le Van et al. 1996). Bu süre ilerledikçe pirolizin 250 °C de hızlı gerçekleştiği görülmüş ve hücre duvarı polimerlerinin buharlaşması, havasız ortamdaki kömürleşme oluşumu ve hava varlığında gerçekleşen tutuşma artar. 102 °C'de 335 gün fırında ısıtılan duglas göknarının elastikiyet modülü %17, kopma

modülü %45 ve liflerde oluşan gerilimin sınırları %33 oranlarında düşmektedir. Aynı kayıplar 160 °C'deki bekletme sürecinde 7 gün içinde gözlenebilmiştir. Havasız ortamda 10 dk. süreyle ve 210 °C sıcaklıkta ısıtılan iğne yapraklı ağacın (İYA)'ın kopma modülü %2, sertliği %5 ve yüzey pürüzlülüğü %5 oranlarında düşmektedir. 280 °C'de aynı şartlar altında kopma modülü %17, sertlik %21 ve yüzey pürüzlülüğü %40 oranlarında düşer. Her iki örnekte ısı, hava ve zamanın birleşik etkilerini göstermektedir (Millet and Gerhards, 1972).

Son 20 yılda odunun polimerik yapıtaşları, yapısı ve tahmini modellerinde oluşan değişim gibi direnci üzerinde kalıcı termal etkiler çalışılmaktadır (Winandy and Lebow, 2001). Hemen hemen 100 türün analizi sistematik olarak farklı yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Bunu kinetik modellerin geliştirilmesi takip etmiş ve kalıcı etkilerin gerçekleşmediği termal bir eşiğin olduğu fikri çürütülmüştür (Lebow and Winandy, 1999). Bu çalışmalar, odunun termal degradasyonunun bir süreliğine olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat 40–50 °C altındaki çoğu ortam sıcaklıklarında degradasyon olma oranları çok küçük olduğu için ihmal edilebilmektedir. Mekanik özelliklerdeki kayıba ksiloz, galaktoz ve arabinozdaki kayıplar eşlik etmektedir. Gerçekleşen en büyük kayıp başlangıç direncinde gerçekleşen kaybın sebep olduğundan dolayı Arabinozda gerçekleşmektedir. Elastikiyet modülü, kopma modülü ve kütle kaybı artan sıcaklık ve zaman süresince devamlı düşer. Ayrıca bu durumun glikoz, ksiloz, galaktoz, arabinoz ve mannozdaki düşüşler sebep olmaktadır (Winandy, 2001).

Yüksek sıcaklıkta odunun işlem görmesi, direnç, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direncinde bir düşüşe sebep olur (Chang and Keith, 1978). Yüksek sıcaklıklardaki ısı işlem sonuçlarına göre mekanik özelliklerde düşüş göze çarpmaktadır. Ayrıca, direnç düşüşlerinin 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlemlerle minimize edilebileceği belirtilmiştir (Boonstra et al. 1998). Dirençteki düşüş, yapılan ısı işlemine göre ciddi oranda etkilenir. Ayrıca direnç kayıplarında higrotermal, hidrotermal şartlarda ve hava ortamında, havasız ortamda karşılaştırıldığında kapalı sistemlerde açık sistemlerde karşılaştırıldığında düşüş daha fazladır. Y.A. aynı şartlar altında ısı işlem uygulandığında İ.Y.A.'dan daha fazla direnç kaybı olduğu belirlenmiştir (Aydemir, 2007).

Termal işlem uygulanmış olan örneklerin yüzey pürüzlülüğü belirlenerek Karaağaç ve Kayın odunlarının Kavak ve Akçaağaç'a göre daha fazla degrade olduğu belirlenmiştir. Douglas göknarı, sarıçam ve sitka ladininin higrotermal işleminde önemli bir düşüş belirlenmiştir. Bu durum 177 °C sıcaklıkta 4 saat ısıtılardan sonra %50, 8 saat ısıtılardan sonra %75 olmaktadır. Mekanik özelliklerdeki düşüş yüzdesi, ısıtılama sıcaklığıyla lineer bir ilişkisi vardır. Bu bilgilerin ışığında, 95 °C sıcaklıkta 32 saat uygulanan ısıtılama işleminde, mekanik özelliklerde hiçbir düşüşün olmadığı düşünülmektedir. İYA'lar buhar ortamında daha fazla degrade olduğu belirlenmiş ve bu esnada büzülme ve kollapsa uğrama meyilinde bir artış gözlenmektedir. Erimiş metal altında termal olarak işlem edilen odunun mekanik özelliklerindeki değişiminde belli bir kinetiğine uyulduğu bulunmuştur. Bunun belirlenmesinde erimiş metalde termal olarak işlem uygulanmış odun farklı zaman ve sıcaklıklarda (160–320 °C) yıkanmış ve işlem edilmiş örneklerin yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir. Böylece %50 su itici değeri, yüzey pürüzlülüğünün yarı yarıya düştüğünü göstermiştir (Chang and Keith, 1978).

Odun, 300 °C'de ısıtılama edildiğinde yüzey pürüzlülüğündeki düşüş, ağırlık kaybı %13 iken %50 düşme, ağırlık kaybı %30 iken %90'lık bir düşüş gerçekleşir. Nitrojen ve hava altında ısıtılmış örnekler arasında hiçbir fark belirlenememiştir. Bu işlemlerde kullanılan sıcaklık ticari olarak kullanılan sıcaklıklardan daha yüksektir. Kayın ve çamın termal işleminde direnç kaybı %1'lik kütle kaybı için %20 olmaktadır. Fakat termal kütle kaybı %10 olduğu zaman %80 olmakta ve daha sonra hızlı bir şekilde artmaktadır. Düşük direnç kayıpları kısa ısıtılama periyotlarında bulunmasına rağmen sadece %1 bir termal kütle kaybındaki değişim, modifiye olmamış odunda %60 oranında daha azdır. Değişken şartlar altında odunun ısıtılama işleminin çalışılmasında, lineer ısıtılama zamanında direnç kaybı gerçekleşmiş ve lineer bir ilişki bulunmuştur. Mekanik özelliklerdeki düşüş, belirli bir (ilk sıra) kanununa uyulduğu görülmüştür (Rusche, 1973).

2.4.2.2. Çatlaklar

Termal muamele süresince odunda hem yüzeyde hemde uçlarda çatlak problemleri meydana gelebilmektedir. Fakat modifiye olmuş odun, ısıtılama işlem görmemiş odunla

karşılaştırıldığında hücre boyutlarında hiçbir net değişim gözlenmemiştir (Schneider 1973, Viitaniemi and Lamsa, 1996).

2.4.2.3. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Eğilme direncinde genelde düşüş 220 °C'den sonra başlamaktadır. Sonuçlar ısıtma işlemi görmüş odunun elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde önemli olmadığını göstermiştir. Odun örnekleri %45 ve %65 nispi nemde kondisyonlanmaktadır. Odunda budak bulunması, ısıtma işlemi görmüş odunun direnç değerleri ile ısıtma işlemi uygulanmamış olana göre daha düşük olur. %12 rutubetteki Ladinin Referans Değerleri; Eğilme Direnci 40–50 N/mm², Elastikiyet Modülü 9,700–12,000 N/mm². Eğilme Direnci, ısıtma işlemi görmemiş odunla karşılaştırıldığında %40'dan daha fazla düşüş gösterdiği görülmüştür. Bu kusurlu olan bölgelerde daha da fazla olmaktadır. Fakat 4 saat 190 °C'lik düşük sıcaklıklarda ısıtma işlemi görmüş odununda bu düşüş çok daha azdır. Birçok çalışmada, odun termal olarak kısa zaman periyotlarında ısıtma işlemi edilmiş ve elastikiyet modülünde küçük bir artış olduğu belirlenmiştir. Elastikiyet modülündeki düşüş ısıtma işlemi sıcaklığı ve diğer şartlara bağlı olarak değişmektedir. Kayının termal degradasyonunun ve çamın farklı sıcaklık ve zaman periyotlarında ısıtma işlemi çalışmalarında direnç ve maksimum yükteki kayıba kütle kaybına 1. etkisi olmasına rağmen, ısıtma işlemi ve türleri hesaba katmadan, elastikiyet modülündeki kayıp, kütle kaybı %8'i geçtiği zaman önemli bir durum almaktadır (Rusche 1973, Green 1999, Yıldız et al. 2007).

Çeşitli odun türlerinin 115 °C'den 175 °C'ye değişen sıcaklıklarda, hava ortamında ısıtılan örneklerin elastikiyet modülünde ilk başlangıçta artış olmuştur ki daha sonra hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu özelliklerdeki düşüş oranı, ısıtma işlemi sıcaklığı artışıyla birinci dereceden ilgilidir. Çeşitli odun örnekleri 160 °C sıcaklıklarda Nitrojen ve hava çeşitli periyotlarda ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Elastikiyet modülündeki değişimin ısıtma işlemi atmosferleriyle ilgili olduğu ifade edilmiştir. Yukarıdaki çalışmaya göre elastikiyet modülü, kısa ısıtma periyotları altında artmış ve ısıtma Nitrojen altında yapıldığında sabit kalmıştır. Fakat, ısıtma hava ortamında düşmüştür. Eğilme direnci ilk başta artar ve daha sonra artan ısıtmayla düşer, bu durum hava ortamında daha fazla olmaktadır (Millet and Gerhards, 1972).

Kısa periyotlarda 180–250 °C sıcaklık altında su buharı kullanılarak ısı işlem edilmiş çam odununun eğilme direncinin kontrol örneklerine nazaran %14 oranında azaldıkları belirlenmiştir (Viitaniemi, 1996). Kayın ve çam diri odunları 100 °C, 130 °C, 150 °C, 180 °C ve 200 °C sıcaklıklarda 6, 24 ve 48 saat süreyle ısı işleme maruz bırakılmış ve 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda eğilme direnci ve elastikiyet modülünde ciddi bir düşüş gözlenmiştir ve aynı düşüş basınç ve şok direncinde yapılan işte de belirlenmiştir. 180 °C sıcaklıklardaki basınç direnci çam ağacı diri odununda kayın odununa göre daha az oranda gerçekleştiği belirlenmiştir. 130 °C sıcaklıklardaki işlemlerde çam diri odununun şok direncinde yapılan iş önemli derecede düştüğü belirlenmiştir (Schneider, 1971).

140–180 °C sıcaklıklarda 15–30 saatlik zaman periyotlarında sert lif levhaya uygulanan ısı işleminden sonra, eğilme ve çekme dirençlerinin benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür. İşlem süresinin uzunluğuna bağlı olarak, öncelikle direnç değerlerinde hafif bir artış kaydedilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda daha yavaş olmak üzere ısı işlem sıcaklığı yükseldikçe direnç değerlerinde hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Böylece eğilme direnci, 180 °C sıcaklıktaki 1 saatlik uygulama ile %20 artış gösterirken, 13 saatlik uygulamadan sonra %50 oranında bir düşüş sergilemektedir. 160 °C sıcaklıktaki 2–3 saatlik uygulama ile %16, 30 saatlik uygulama ile %28, 150 °C sıcaklıktaki 4 saat uygulama ile %12, 50 saat uygulama ile %18 ve 140 °C sıcaklıktaki için 12 saatlik uygulama ile %12 ve 50 saatlik uygulama ile %4 oranlarında eğilme direncinde düşüş kaydedilmiştir (Schneider, 1971). 105 °C-155 °C sıcaklıklarda 10–160 saat arasında değişen sürelerde okalyptus odununa ısı işlem uygulanmış ve sonuçta eğilme direncinde, elastikiyet modülünde, basınç ve makaslama dirençlerinde ciddi düşüşler olduğu belirlenmiştir (Vital, et al. 1983). Kayın ve ladin örnekleri 100 °C –200 °C sıcaklıklarda 96 saat süreyle hava ve vakum altında ısıyla işlem edilmiştir. Aynı oranda ağırlık kaybı değerlerinde, maksimum direnç ve maksimum yüklemeye kadar yapılan işin çekme direncinde, basınç direncine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Rusche, 1973). 200 °C sıcaklıkta ısıtılan Ladin odununda %50 oranında eğilme direncinde kayıp olduğu belirlenmiş ve bu durumda elastikiyet modülü üzerinde çok az bir düşüşe sebebiyet vermiştir (Bekhta and Niemz, 2003). Odun örneklerinden karaağaç, kayın, kavak ve akçaağaç'ın elastikiyet modüllerinde termal modifikasyondan sonra ufak artışlar

gözlenmiştir. Fakat daha aşırı derecedeki ısı işlemlerden sonra elastikiyet modülünde bir düşüşün olduğu görülmüştür (Chang and Keith, 1978). Kapalı sistemlerde 150 °C sıcaklıkta nemli şartlar altında odunun termal işleminden dolayı elastikiyet modülündeki düşüşün belli bir kinetiğe uymadığı belirlenmiştir. 150 °C sıcaklıkta kuru şartlar altında odunun termal işleminden sonra genellikle elastikiyet modülünde küçük artışlar olur ve bu durumda uzun ısıtma periyotlarında oksijen varlığında olduğu beklenmektedir. Nem mevcutken tüm elastikiyet modülünde kısa ısıtma periyotlarında düşüşler gerçekleşmiştir (Mitchell, 1988).

Rutubetli odun örnekleri ile kuru fırın olan odunun ısıtıldığında elastikiyet modülünde ciddi bir düşüşün olduğu görülmüştür. Fakat, kısa ısıtma periyotlarında herhangi bir düşüş eğilimi görülmemiştir. Termal olarak işlem görmüş odunun mekanik özellikleri belirlenirken budak gibi kusurların uzaklaştırılması önemlidir. Çoğu çalışmada değişik olmasına rağmen ısı işlem görmüş odun için bazı limitler belirlenmiştir (Kim et al. 2001). 220 °C’de higrotermal olarak işlem uygulanan ladin ve çam örnekleri (45x145 mm ve 4,5m) çalışılmış ve eğilme direncinde %50’lik bir düşüş bulunmuş ve buna paralel olarak elastikiyet modülünde kayıplar gözlenmiştir. Termal olarak modifiye olmuş odunun normal oduna göre daha fazla gevrek olduğu bulunmuştur (Bengtsson et al. 2003).

2.5. YAPIŞMA TEKNİĞİ VE TUTKALLAR

Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkallar genellikle koloidal çözeltilerdir. Yapışma esnasında, çözeltilerin su kaybetmesi, soğuması veya içerisindeki reaksiyonun oluşmasıyla, çözelti geçici olarak pelteleşir ve zaman geçtikçe de katılaşır (sertleşir). Böylece iki ağaç malzeme yüzeyi arasında katı bir tutkal tabakası oluşur. Bu tabaka çeşitli zorlanmalara karşı koyabilecek dirence sahiptir. Diğer taraftan tutkal çözeltisi katılaşırken iki ağaç malzemeyi de birbirleriyle birleştirmiş olur. Ayrıcı kuvvetlere karşı tutkal ve odun yüzeyi arasında oluşan bağlar ve tutkal tabakası yeterli direnç gösterebilmektedir (Kızılırmak 2007).

2.5.1. Tutkal Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Orman endüstrisinde en çok kullanılan tutkal çeşitleri ve kullanım alanları Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Tutkal çeşitleri ve kullanım alanları (Keskin, 2001).

Tutkal Çeşidi	Sembolü	Kullanım Alanları	Kullanım Yeri
Epoksi	E	Ahşap ile Metal, Cam, Seramik, Duroplastik vb. Birleştirmeler	Yarı Açık ve Rutubetli iç Mekanlarda, Direnç Gerektiren Yerlerde
Poliüretan	Pl	Laminasyon ve Tüm Ahşap Birleştirmeler	
Melamin Formaldehid	Mf	Kontrplak, Yonga Levha ve Kavisli Elemanlar	
Melamin – Üre Formaldehid	Müf	Laminasyon, Yonga Levha Kontrplak ve Ahşap Birleştirmeler	
Resorsin Formaldehid	Rf	Laminasyon, Kama Dişli Birleştirme ve Tüm Ahşap Birleştirmeler	Tamamen Açıkta, Yüksek Direnç Gerektiren Yerlerde
Fenol – Resorsin Formaldehid	Frff	Laminasyon, Kama Dişli Birleştirme, Kayık Yapımı ve Tüm Ahşap Birleştirmeler	
Fenol Formaldehid	Ff	Kontrplak ve Bazı Yonga levhalar	
Üre Formaldehid	Üf	Kontrplak, Yonga levhalar, Mdf ve Panel Yüzeyler	İç Mekanlarda, Direnç Gerektiren Yerlerde
Kazein	K	Laminasyon ve Ahşap Birleştirmeler	
Polivinilasetat	PVAc	Ahşap Birleştirmeler ve Küçük Boyutlu Tutkallamalar	İç Mekanlarda, Yüksek Direnç Gerektirmeyen Yerlerde
Kauçuk Esaslı	Ke	Çivi, Tutkallı birleştirme	

Ağaç işleri endüstrisinde kullanılan tutkallar, TS 5430'da direnç özelliklerine göre çizelge 2.4.'de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.4. Direnç özelliklerine göre tutkalların sınıflandırması (Keskin, 2001).

Sınıflar	Direnç Özellikleri
A	Sıcaklık ve hava rutubetiyle temas halinde olmayan, genellikle düşük rutubetli kapalı yerlerdeki şartlara dayanıklı olup, kuru ortamdaki oda kapılarında ve mobilyalarda kullanılır.
B	Mutfak ve banyo gibi kısa süreli yüksek rutubet ve zaman zaman su etkilerine maruz kalan kapalı yerlerdeki hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
C	Pencere, dış kapı ve dış merdiven gibi zaman zaman yüksek rutubet ve kısa süreli su tesirlerine maruz kalan ortamlardaki şartlara dayanıklıdır.
D	Banyo ve duş kabinleri gibi ekstrem klima değişiklikleri ve su etkilerine maruz kalan kapalı ortam şartlarıyla; dış pencere, dış kapı gibi ekstrem klima şartlarına sahip olan açık hava ortamındaki kullanımlara dayanıklıdır

D sınıfı tutkallar dayanıklılıklarına göre; D1, D2, D3 ve D4 olarak gruplandırılır. Bu tutkalların kullanım alanları:

- D1 : Sıcaklığın 50 °C civarında, rutubetin maksimum %15 olduğu iç mekanlar.
- D2 : Akan veya yoğunlaşan suya kısa aralıklarla maruz kalan iç mekanlar.
- D3 : Kısa aralıklarla yoğunlaşan suya veya rutubete maruz kalan iç mekanlar.
- D4 : Uzun süre ile akan ya da yoğunlaşan suya maruz kalan iç ve dış mekanlar.

2.5.2. Yapışma

Yapışma, cisimlerin kendi atom ve molekülleri arasındaki çekim gücü olan (kohezyon) ve cisimlerin birbirine tamamen çakışmış yüzeyde, iki ayrı cisim moleküllerinin karşılıklı olarak birbirlerini çekim gücü olan (adezyon) ile bağlanmasıdır. Adezyon kuvveti moleküller arasındaki mesafe 3 Angstrom (Å) kadar yaklaştırılması halinde moleküller birbirini etkileyerek artırılabilir (Keskin, 2001).

2.5.2.1. Adezyon Kuvveti

İki katı maddenin yapışmasını, yani yan yana gelen yüzeylerinin birleşmesini sağlayan kuvvetlerin toplamına adezyon kuvveti denir. Ağaç malzemenin yapıştırılmasında koloidal çözelti halinde olan tutkal, odunun gözeneklerini yüzeyden itibaren viskozitesine göre, çeşitli derinliklerde doldurur veya bu boşlukların iç yüzeylerini ıslatır, ince bir tabaka halinde örür. Sıvı tutkalın katılaşmasıyla (sertleşmesiyle) odun ile tutkal arasında kenetlenme meydana gelir. Bu olay, mekanik adezyon (mekanik yapışma) olarak isimlendirilir. Mekanik kenetlenmenin, yapışmayı sağlayan kuvvetlere katılma oranı çok azdır. Pratik olarak ihmal edilir seviyededir. Hatta, tutkal ağaç malzeme gözeneklerini tamamen doldurur ve iki parça arasında tutkal tabakası oluşmazsa ve bu tabakanın oluşumu yer yer aksarsa yapışma olayı zayıflar (Kızılırmak, 2007).

Tam yapışmayı gerçekleştiren ve yeterli direnci sağlayan spesifik kohezyon gücüdür. Bu iki katı maddenin yüzeylerinin birbirleri arasında meydana gelen karşılıklı etki sonucunda ortaya çıkar. Pratikte bu yaklaşmayı sağlamak mümkün olmadığı için yapıştırıcı maddelere gereksinim duyulmuştur. Yapıştırıcı maddeler, yapıştırılmak istenilen malzemelerin yüzeylerini ıslatabilmeleri ve yeteri kadar kendi molekülleri arasında kohezyon kazanabilmeleri için katılaşabilmeleri zorunludur (Keskin, 2001).

2.5.2.2. Kohezyon Kuvveti

Kohezyon, aynı cins moleküller arasındaki bağı, yani moleküllerin çekim kuvvetlerinin tamamını ifade eder. Dış etkilere karşı cismin direnç göstermesi, kohezyon kuvvetlerinin varlığı ile mümkündür ve onun miktarına bağlıdır. Bu ise, cismin moleküller yapısı tarafından belirlenir. Yapıştırma işleminde tutkal tabakası direncinin, yani kohezyonun tutkal ile ağaç malzeme yüzeyi arasındaki bağlanma direncinin adezyona eşit olması ve her ikisinin de ağaç malzeme direncinden yüksek olması ideal olanıdır (Kızılırmak, 2007).

2.5.3. Pratikte Yapışma

Sıvı yapıştırıcı, iki katı cismin çakışan yüzeylerine sürülerek, arasındaki boşluğu tamamen ıslatıp doldurur. Böylece, katı malzemenin molekülleri ile vasıtalı olarak birbirine tamamen yaklaştırılmış olur. Daha sonra, kimyasal veya fiziksel olarak sertleşen (katılaştıran) yapıştırıcı tabakası iki cismin çakışan yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturur ve böylece yapışma gerçekleşmiş olur (Keskin, 2001).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Ağaç malzeme

Bu çalışmada, ısıl işlemin sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ağacının laminasyon özelliklerine etkilerinin incelenmesi amacıyla Karabük Orman Bölge Müdürlüğünden temin edilen sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ağacı kerestesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan deney örnekleri I. sınıf ağaç malzemedir, düzgün lifli, budaksız, çatlaksız, tül teşekkülü ve büyüme kusurları bulunmayan, renk ve yoğunluk farkı olmayan, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış diri odun kısımlarından hazırlanmıştır.

3.1.2. Yapıştırıcı

Isıl işlem uygulanan ağaç malzemedir lamine malzeme elde etmek için fenol formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Kullanılan yapıştırıcı Polisan'dan temin edilmiştir.

Üretici firma (2002)'ye göre Fenol formaldehitin temel bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir. Fenol'un temel bileşenleri toluen ve benzendir. Toluene benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenolü oluşturur. Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Lamine ağaç malzeme için %30'luk, OSB için %50'lik katı içerik ve koloidal çözelti olarak ahşap ürünleri fabrikalarında yaygın olarak işleme alınmaktadır. Bu sıvı, kokusuz, koyu kahverengi ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında, fenol formaldehit reçinesi, üre formaldehit

reçinesi gibi bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. Fenol formaldehit çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2.2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapıştırılacaktır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakıldığı gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır (Keskin, 2001). Üretici firmanın önerisine göre, tutkal yüzeye 180 - 200 g/m² olarak uygulanır. Tutkalın viskozitesi 20 °C'de 1250 - 1500 MPa. s yoğunluğu ise 20 °C'de 1,2 ± 0,05 g/cc'dir.

3.2. METOT

3.2.1. Lamine Malzemelerin Üretimi

Isıl işleme maruz bırakılacak deney numuneleri olarak hazırlanan 5 mm kalınlığında, 70 mm genişlik ile 400 mm uzunluğundaki sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) odunu lamine kaplamaları kesme yöntemiyle elde edilmiştir. %12'lik rutubet derecesine getirilmiş olan kaplamaları ısıl işleme maruz bırakmak amacıyla, 4 farklı sıcaklıkta 110 °C, 130 °C, 150 °C, 170 °C'de ısıl işlemde bekletme süreleri olarakta 3 farklı sürelerde; 2, 4, 6 saat olmak üzere toplam 12 farklı kombinasyonda ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Isıl işlem uygulamasından sonra fenol formaldehit reçinesi kullanılarak pres basıncı altında 4 katmanlı lamine ağaç malzeme haline getirilmiş deney numuneleri her bir farklı mekanik deney için 12 farklı kombinasyonda 120'şer adet deney numunesi ve her farklı mekanik deneyde kullanmak amacıyla 10'ar adet kontrol grubu olmak üzere 5 farklı mekanik deney için toplam 650x5=3250 adet lamine ağaç malzeme haline getirilmiş deney numunesi üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Laminasyon işlemi TS EN 386 esaslarına uyularak, hava kurusu haldeki 5 mm kalınlığındaki kaplamalardan 20x70x780 mm boyutlarında ve 4 katmanlı olarak üretilmiştir. Üretici firma önerisine uyularak tutkal, yüzeylerden sadece bir tanesine fırça ile ve $\approx 180\text{gr/m}^2$ hesabıyla sürülmüştür. Tutkal çözeltisinin başlangıçtaki ağırlığı ile tutkallama işleminden sonraki ağırlığı tartılmış ve kullanılan tutkal miktarı (fırçada kalan tutkal hesaba katılarak) tutkallanan toplam yüzeye bölünerek

kontrol edilmiştir. Yapışma işleminde yüzeyler tutkalandıktan sonra pres basıncı 2,5 kg/cm², pres sıcaklığı 120 °C, presleme süresi 15 dakika olmak üzere preslenmiştir. Laminasyon işlemi, sıcak ve soğuk preslemeye uygun basınç göstergeli hidrolik sistemli pres ile yapılmıştır.

3.2.2. Tam Kuru Yoğunluk

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Yoğunlukların belirlenmesi için TS 2472 esaslarına uyulmuştur. Tam kuru yoğunluk (δ_0) tayini için, örnekler etüv'de 103 ± 2 °C sıcaklık derecesinde ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler, kurutma fırınından alındıktan sonra 0.001 g duyarlılıklı elektronik terazide tartılmıştır. Örneklerin boyutları ± 0.01 mm duyarlılıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplandıktan sonra tam kuru yoğunlukları (δ_0); tam kuru ağırlık (M_0) ve hacim (V_0) değerlerine göre tam kuru yoğunluk (δ_0), (3.1)'e göre hesaplanmıştır;

$$\delta_0 = M_0 / V_0 \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.1)$$

3.2.3. Hava Kuru Yoğunluk

Hava kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin rutubetleri TS 2471, yoğunlukları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2471, 1976; TS 2472, 1976). Buna göre; deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki kabinde bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabiliteye ulaştıktan sonra 0.001 g duyarlılıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ± 0.01 mm duyarlılıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuru haldeki ağırlık (M_{12}) ve hacim (V_{12}) değerine göre hava kuru yoğunluk (δ_{12}), (3.2)'ye göre hesaplanmıştır;

$$\delta_{12} = M_{12} / V_{12} \text{ g/cm}^3 \quad (3.2)$$

3.2.4. Denge Rutubeti

20x20x30 mm boyutlarında kesilmiş test ve kontrol örneklerinden her bir varyasyon için 10'ar adet hazırlanmıştır. Isıl işlem uygulanan test örnekleriyle bunlara ait kontrol örneklerinin tam kuru ağırlıkları belirlendikten sonra, %35, %50, %65, %85, %95 bağıl nem ve 20 °C koşullarındaki iklimlendirme odasına bırakılmıştır. Burada, deney ve kontrol örneklerinin ağırlıklarından denge rutubeti ulaşıncaya kadar devamlı ölçülerek TS 2471'e uygun olarak (3.3)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$DRM = \frac{Ar - A_0}{A_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

Ar : İklimlendirme cihazında ulaşılan ve değişmeyen rutubetli ağırlık,

Ao : Tam kuru ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

Test örneklerinden elde edilen denge rutubeti ($t\alpha_{drm}$) değerlerinin, kontrol örneklerinden elde edilen denge rutubeti ($k\alpha_{drm}$) değerlerine oranlanmasıyla belirlenen denge rutubetindeki azalış oranı ($A\alpha_{drm}$) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

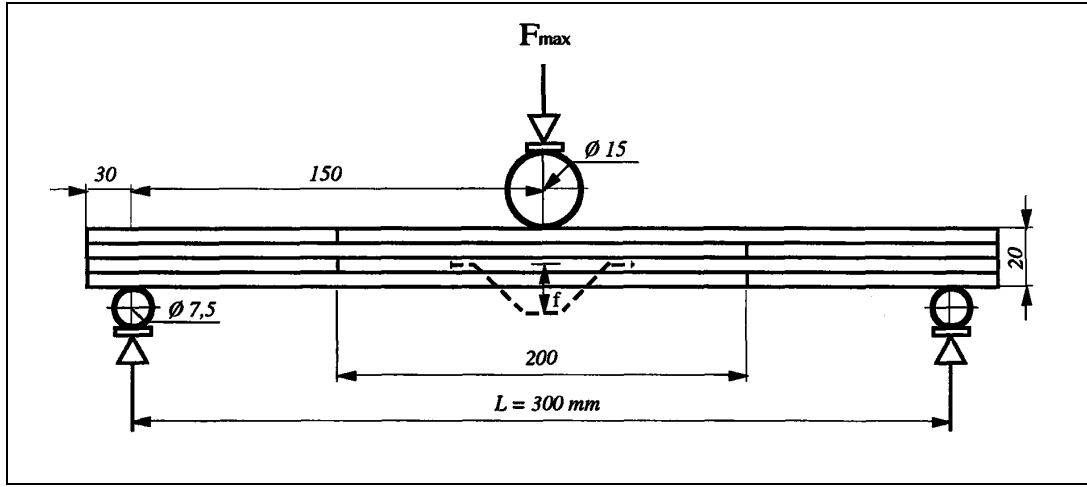
$$A\alpha_{drm} = \frac{t\alpha_{drm} - k\alpha_{drm}}{k\alpha_{drm}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.2.5. Ağaç Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesindeki Deneyler

3.2.5.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Deneyi

Deney örnekleri, eğilme direnci değerleri ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için 20x20x360 ±1 mm'lik ölçülerdeki örnekler TS 2474 (TS 2474, 1976)'e göre hazırlanmıştır. Deney örnekleri, her deney için 10'ar adet;

bir ağaç türü, dört farklı ısıl işlem sıcaklığı, üç farklı ısıl işlem süresi, bir tutkal maddesi ve 10 adet kontrol örneği olmak üzere toplam 130 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan 5000 kg kapasiteli Universal Zwick Roell Z50 test cihazında yapılmıştır. Deney örneklerinin deformasyon anındaki kuvvetleri ve grafikleri test cihazına bağlı olan bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerin yapılışı şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneyi

Kırılma, yükleme işleminden 1-2 dakika sonra gerçekleşmiştir. Kırılma sırasında ölçülen kuvvet (F_{max}) için eğilme direnci (σ_e);

$$\sigma_e = \frac{3F_{max}l}{2bh^2} \text{ N/mm}^2 \quad (3.5)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

Burada;

σ_e = Eğilme direnci (N/mm^2)

F_{max} = Kırılma sırasında ölçülen kuvvet

l = Dayanaklar arası açıklık (mm)

b = Örnek genişliği (20 mm)

h = Örnek yüksekliği (20 mm)

Eğilmede elastiklik modülü (E) belirlenmesinde ise;

$$E = \frac{1}{4} x \frac{(F2 - F1)Ls^3}{\Delta fxbxh^3} \text{ Kg/cm}^2 \quad (3.6)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

Burada;

E = Eğilmede lastiklik modülü (Kg/cm^2)

$F1$ = Birinci yük (Kg/cm^2)

$F2$ = İkinci yük

Δf = Sehim farkı (cm)

b = Örnek genişliği (cm)

h = Örnek kalınlığı (cm)

Ls = Mesnet açıklığı (cm)

3.2.5.2. Liflere Paralel Basınç Direnci Deneyi

Deney örnekleri, liflere paralel basınç direnci deneyi değerlerinin belirlenmesi için $20 \times 20 \times 30 \pm 1$ mm'lik ölçülerdeki örnekler TS 2595 (TS 2595, 1977)'e göre hazırlanmıştır. Deney örnekleri, her deney için 10'ar adet; bir ağaç türü, dört farklı ısıtma işlem sıcaklık, üç farklı ısıtma süresi, bir tutkal maddesi ve 10 adet kontrol örneği olmak üzere toplam 130 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan 5000 kg kapasiteli Universal Zwick Roell Z50 test cihazında yapılmıştır. Deney örneklerinin deformasyon anındaki kuvvetleri ve grafikleri test cihazına bağlı olan bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerin yapılışı şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Liflere paralel basınç direnci deneyi

Deneylelerden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı ölçölüp, ezilme anındaki maksimum kuvvet (Fmax) belirlenerek basınç dirençleri (σ_b);

$$\sigma_b = F_{max} / A \times N / \text{mm}^2 \text{ eşitliğinden hesaplanmıştır.} \quad (3.7)$$

Burada;

$$\sigma_b = \text{Basınç direnci (N/mm}^2\text{)}$$

F max = Kırılma sırasında ölçölülen kuvvet

A = Örneğin enine kesit alanı (mm²)

3.2.5.3. Dinamik Eğilme (Şok Direnci) Deneyi

Deney örnekleri, dinamik eğilme (şok direnci) deneyi değerlerinin belirlenmesi için 20x20x360 ±1mm'lik ölçölülerdeki örnekler TS 2478 (TS 2478, 1976)'ye göre hazırlanmıştır. Deney örnekleri, her deney için 10'ar adet; bir ağaç türü, dört farklı ısıl işlem sıcaklık, üç farklı ısıl işlem süresi, bir tutkal maddesi ve 10 adet kontrol örneği olmak üzere toplam 130 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Faköltesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan dinamik eğilme (şok direnci) deney cihazında yapılmıştır. Deneylelerin yapılışı şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dinamik eğilme (şok direnci) deneyi

Bu deneyde kırılma anında harcanan iş miktarı (A), deney aletindeki kadrandan belirlenerek dinamik eğilme direnci (σ_{DE}) bulunmuştur.

$$\sigma_{DE} = A/bxh \text{ (kN/cm}^2\text{)} \quad (3.8)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada;

σ_{DE} = Dinamik eğilme direnci (kgm/cm²)

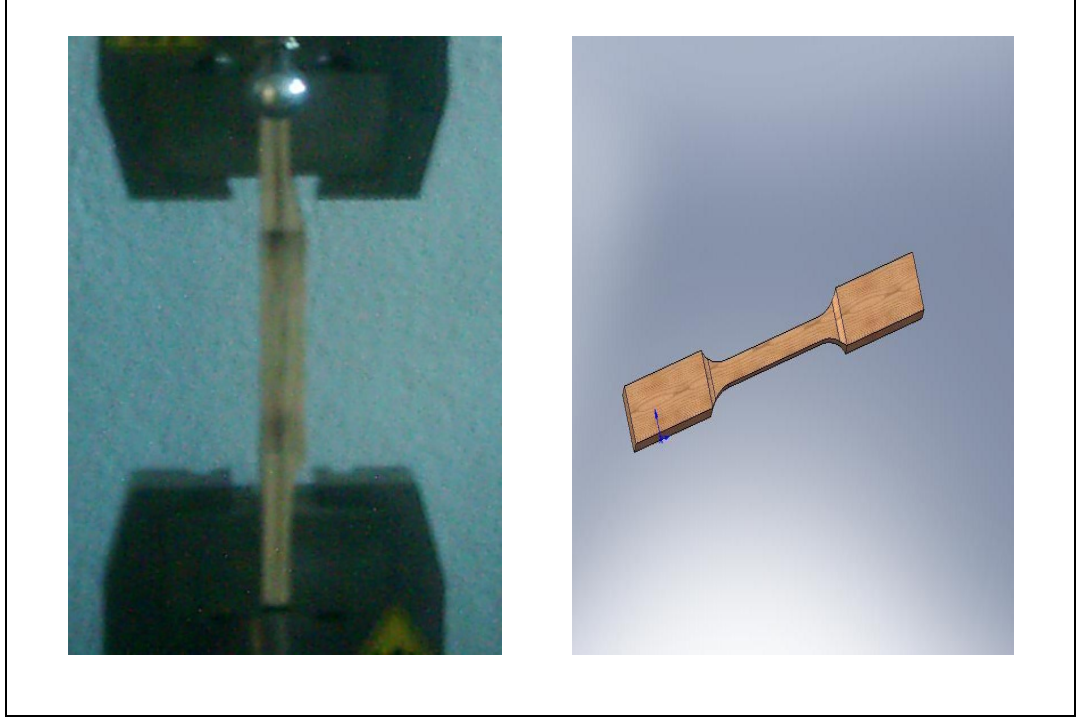
A = İş miktarı (kgm)

b = Örnek genişliği (cm)

h = Örnek kalınlığı (cm)

3.2.5.4. Liflere Paralel Çekme Direnci Deneyi

Deney örnekleri, liflere paralel çekme direnci deneyi değerlerinin belirlenmesi için deney örneklerinin boyu = 450 mm, ortada esas çekilme bölgesi kalınlığı (a) = 7 mm, genişlik (b) = 20 mm, deney bölgesi uzunluğu $L_v = 150$ mm'dir. İki başta kalınlık = 15 mm, genişlik = 50 mm, böylece enine kesit = 15x50 mm, uzunluk = 120 mm ölçülerindeki örnekler TS 2475 (TS 2475, 1977)'e göre hazırlanmıştır. Deney örnekleri, her deney için 10'ar adet; bir ağaç türü, dört farklı ısıl işlem sıcaklık, üç farklı ısıl işlem süresi, bir tutkal maddesi ve 10 adet kontrol örneği olmak üzere toplam 130 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deney örnekleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan 5000 kg kapasiteli Universal Zwick Roell Z50 test cihazında yapılmıştır. Deney örneklerinin deformasyon anındaki kuvvetleri ve grafikleri test cihazına bağlı olan bilgisayara aktarılmıştır. Deneylerin yapılışı ve deney örneğinin resmi şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Liflere paralel çekme direnci deneyi

Bu deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\parallel} = \frac{P_{\max}}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3.9)$$

Burada;

σ_{\parallel} = Liflere paralel çekme direncini (kg/cm²)

P_{\max} = Kırılma anında oluşan yük (kg)

A = Enine kesit alanı (cm²) dir.

3.2.5.5. Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programdan faydalanılmıştır. Çalışmada faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizine başvurulmuştur. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için Duncan testine başvurulmuştur. Ayrıca ortalama ve istatistiksel analizler içinde yine tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR

4.1. MEKANİK ÖZELLİKLER

4.1.1. Eğilme Direnci

Deney örneklerinin hazırlanmasında belirlenen üretim koşulları ve eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalama (\bar{X}), standart sapma (Std. Sp), değerleri çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Süre (Saat)	\bar{X}	Std. Sp.
Kontrol	-	89,92	1,12
110 °C	2	78,00	1,14
	4	73,87	3,72
	6	69,35	5,09
130 °C	2	78,31	3,19
	4	71,15	3,94
	6	66,86	2,97
150 °C	2	69,72	3,08
	4	68,75	4,35
	6	63,96	3,90
170 °C	2	64,86	3,53
	4	62,05	2,65
	6	57,45	3,41

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, Std. Sp. : Standart Sapma

Eğilme direnci değerleri incelendiğinde ısıl işlem sıcaklığı arttıkça eğilme direnci değerlerinin azaldığı görülmektedir. Eğilme direnci değerleri en yüksek kontrol

örneklerinde 89,92 N/mm², en düşük ise 57,45 N/mm² olarak 170 °C’de 6 saat süre ile ısıtılma tabii tutulan deney örneklerinde tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasının genel olarak eğilme direnci değerini azaltıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde 89,92 N/mm² olan eğilme direnci, sıcaklığı 110 °C sabit kabul edip bekletme sürelerinin 2 saat, 4 saat ve 6 saat olarak değiştirilmesi durumunda eğilme direnci değerinin %13,25, %17,84 ve %22,87 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulamasında kullanılan sıcaklık değeri ve bekletme süresinin lamine malzemelerin eğilme direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2.’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Eğilme direnci çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Uygulanan Model	6303,38	12	525,28	6,50	0,00
Etkileşim	644396,10	1	644396,10	7986,11	0,00
Sıcaklık (°C)	385,20	3	128,40	1,59	0,20
Süre (saat)	3560,58	2	1780,29	22,06	0,00
Sıcaklık*Süre	730,04	6	121,67	1,50	0,18
Hata	9440,67	117	80,68		
Toplam	732846,20	130			

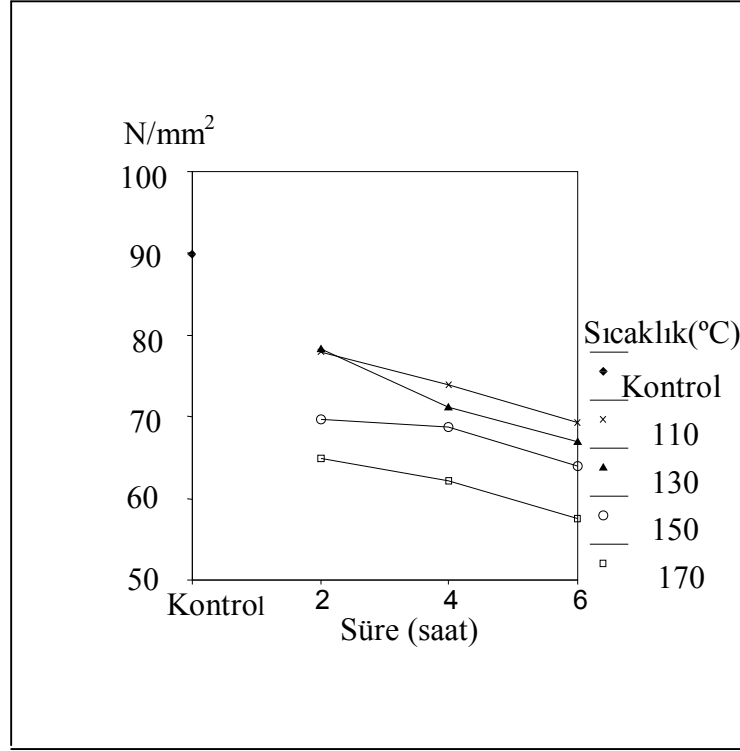
Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.2.) deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan numunelerin ısıtılma uygulamasında kullanılan sürenin eğilme direncine etkisi %95 güven aralığında anlamsız olduğu bulunurken, uygulanan sıcaklık değerinin etkisinin ise %95 önem düzeyinde anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. Belirlenen farklılığın hangi parametreler arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Eğilme direnci duncan testi sonuçları

Koşullar		\bar{X}	H.G.
Sıcaklık	Süre		
Kontrol	-	89,92	A
130 °C	2	78,31	A
110 °C	2	78,00	AB
110 °C	4	73,87	ABC
130 °C	4	71,15	BCD
150 °C	2	69,72	BCD
110 °C	6	69,35	BCD
150 °C	4	68,75	BCD
130 °C	6	66,86	CD
170 °C	2	64,86	DE
150 °C	6	63,96	DE
170 °C	4	62,05	DE
170 °C	6	57,45	E

\bar{X} = Aritmetik Ortalama, H.G = Homojenlik Grubu

Duncan testi sonuçlarına göre en düşük eğilme direncinin 170 °C’de 6 saat bekletilerek elde edilen lamine ağaç malzemede, en yüksek eğilme direnci değeri ise kontrol grubu deney örneklerinde tespit edilmiştir. 110 °C’de 6 saat, 130 °C, 150 °C’de 4 saat ile 150 °C’de 2 saat ısıtılarda bekletilen deney örnekleri arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir. 110 °C’de 2 saat, 130 °C’de 2 saat süre ile ısıtılarda bekletilen deney örnekleri arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmezken, diğer varyasyonlar arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmiştir. Eğilme direnci değerlerinde sıcaklık ve ısıtılama süresine bağlı olarak meydana gelen değişim şekil 4.1.’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Eğilme direnci değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.1.'de ısıtma işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak lamine ağaç malzemenin eğilme direnci değerleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 2 saat, 4 saat ve 6 saat süre ile ısıtma işlem uygulanan 4 farklı sıcaklıkta bekletilen deney örneklerinin eğilme direncinde düşüş tespit edilmiştir. En düşük değer ise $57,45 \text{ N/mm}^2$ olarak $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 6 saat süre ile ısıtma işlem uygulanan örneklerden elde edilmiştir. En yüksek değer $89,92 \text{ N/mm}^2$ olarak kontrol örneklerinden elde edilmiştir.

4.1.2. Elastikiyet Modülü

Deney örneklerinin hazırlanmasında belirlenen üretim koşulları ve bunun sonucunda belirlenen eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalama (\bar{X}), standart sapma (Std. Sp), değerleri çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Süre (Saat)	\bar{X}	Std. Sp
Kontrol	-	9749,33	163,64
110 °C	2	9549,92	194,10
	4	9794,27	173,84
	6	10121,56	106,05
130 °C	2	9740,70	172,74
	4	9954,82	144,02
	6	10540,23	271,50
150 °C	2	10180,67	301,16
	4	10544,05	534,87
	6	10898,25	633,48
170 °C	2	10499,73	322,76
	4	10719,77	402,41
	6	10977,04	364,90

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, Std. Sp. : Standart Sapma

Çizelge 4.4.'e göre ısıl işlem sıcaklığı ve süresinin elastikiyet modülü üzerinde önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmakta ve ısıl işlem görmüş örneklerin elastikiyet modülünde artış gözlenmektedir. En düşük elastikiyet modülü (9749,33 N/mm²) ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en yüksek elastikiyet modülü (10977,04 N/mm²) 170 °C'de 6 saat bekletme süresi ile ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulamasında kullanılan sıcaklık değeri, bekletme sürelerinin lamine malzemelerin elastikiyet modülü üzerine etkisini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Elastikiyet modülü değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi (P≤0.05)
Uygulanan Model	168005065,16	12	14000422,10	17,31	0,00
Etkileşim	9981759434,14	1	9981759434,14	12346,1	0,00
Sıcaklık (°C)	48553192,64	3	16184397,55	20,01	0,00
Süre (saat)	16824789,43	2	8412394,71	10,40	0,00
Sıcaklık*Süre	95812810,19	6	15968801,70	19,75	0,00
Hata	94593884,14	117	808494,74		
Toplam	11571509035,84	130			

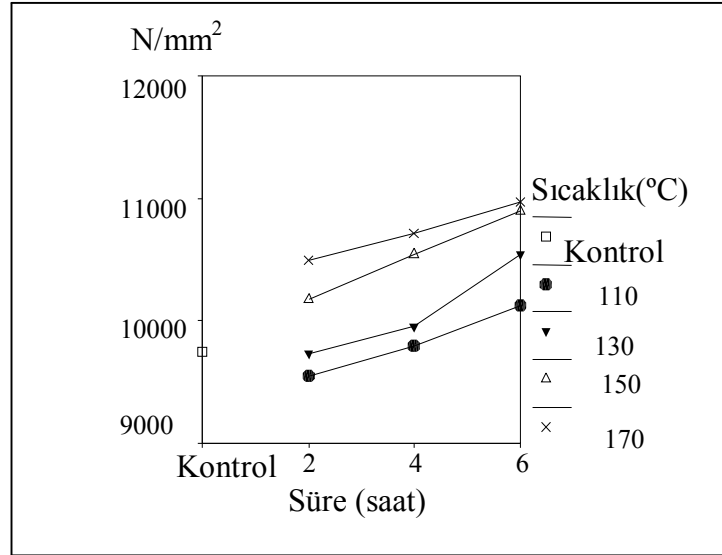
Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan numunelerin ısıtma işlem uygulamasında kullanılan sürenin ve sıcaklığın elastikiyet modülü değerine etkisi %95 güven aralığında anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilişkin Duncan testi çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Elastikiyet modülü duncan testi sonuçları

Koşullar		\bar{X}	H.G.
Sıcaklık	Süre		
170 °C	6	10977,04	A
150 °C	6	10898,25	B
170 °C	4	10719,77	B
150 °C	4	10544,05	C
130 °C	6	10540,23	CD
170 °C	2	10499,73	CD
150 °C	2	10180,67	CD
110 °C	6	10121,56	CDE
130 °C	4	9954,82	CDEF
110 °C	4	9794,27	DEF
Kontrol	-	9749,33	DEF
130 °C	2	9740,70	EF
110 °C	2	9549,92	F

\bar{X} = Aritmetik Ortalama, H.G = Homojenlik Grubu

Duncan testi sonucuna göre farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin sıcaklık ve ısıtma süresine bağlı olarak meydana gelen değişimi şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Elastikiyet modülü değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.2.'ye göre ısıtma elastikiyet modülünü genel olarak çok az miktarda arttırmıştır. Elastikiyet modülündeki küçük fakat fark edilebilir artış hemiselülozların degradasyonuna rağmen ısıtma sonrası kristal selülozun nisbi miktarındaki artıştan kaynaklanmış olabilir. Ayrıca ısıtma görmüş odun kontrolden daha az higroskopiktir (çünkü hücre çeperleri daha az bağlı su içerir) bu da elastikiyet modülünü etkiler (Keskin, 2001). Literatürde ısıtmanın eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Schneider, 1973). 202 °C'de göknar odununda %17'lik bir artış olduğunu bulmuşlardır. Chang and Keith (1978) ılımlı ısıtma sonucu odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını ancak çok yüksek sıcaklıklarda muamelenin elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler.

4.1.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Örneklerde belirlenen basınç direncine ait Ortalama (\bar{X}), Standart Sapma (Std. Sp.) değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm²)

Isıl işlem Sıcaklığı (°C)	Süre (Saat)	\bar{X}	Std. Sp.
Kontrol	-	49,92	1,68
110 °C	2	50,28	1,76
	4	51,72	1,23
	6	55,57	2,60
130 °C	2	55,89	2,73
	4	55,31	2,01
	6	56,73	1,92
150 °C	2	55,90	4,23
	4	58,98	3,11
	6	60,38	1,98
170 °C	2	58,02	1,35
	4	60,43	2,36
	6	64,38	2,26

Isıl işlem görmüş deney örneklerinin basınç direnci değeri en yüksek 170 °C’de 6 saat örneklerinde 64,38 N/mm², en düşük 49,92 N/mm² olarak kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasının genel olarak basınç direnci değerini artırıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde 49,92 N/mm² olan basınç direnci, sıcaklık 170 °C sabit kabul edip bekletme sürelerinin 2 saat, 4 saat ve 6 saat olarak değiştirilmesi durumunda basınç direnci değeri %16.22, %21.05 ve %28.96 oranında yükseldiği tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulamasında kullanılan sıcaklık değeri, bekletme sürelerinin lamine malzemelerin eğilme direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8.’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Basınç direnci değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi (P≤0.05)
Uygulanan Model	469,96	12	39,16	3,40	0,00
Etkileşim	295567,3	1	295567,31	25677,2	0,00
Sıcaklık (°C)	274,28	3	91,43	7,94	0,00
Süre (saat)	62,95	2	31,48	2,73	0,07
Sıcaklık*Süre	108,78	6	18,13	1,57	0,16
Hata	1346,77	117	11,51		
Toplam	345439,1	130			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan örneklerin ısıl işlem uygulamasında uygulanan sıcaklık değerinin basınç direncine etkisi %95 güven aralığında anlamlı olduğu bulunurken, kullanılan sıcaklık değişimi ve etkileşiminin ise %95 önem düzeyinde anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre, ısıl işlemde bekletme süresinin basınç direncine etkisi ise %95 önem düzeyinde anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

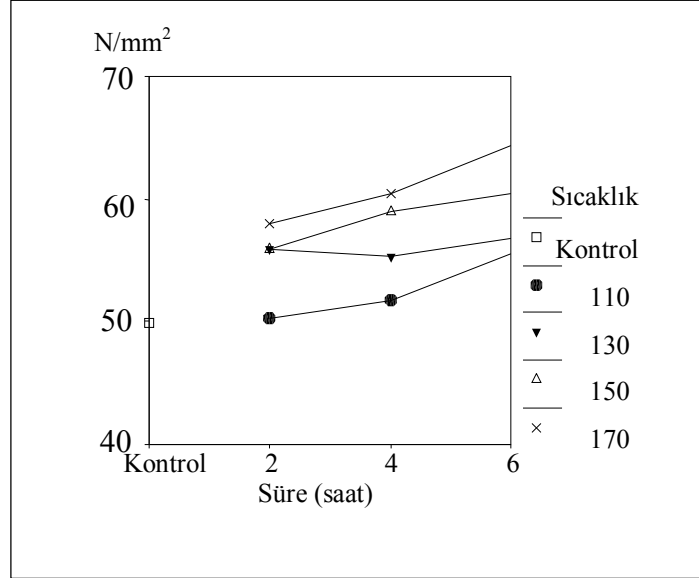
Farklılığın hangi parametreler arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Liflere paralel basınç direnci duncan testi sonuçları

Koşullar		\bar{X}	H.G.
Sıcaklık	Süre		
170 °C	6	64,38	A
170 °C	4	60,43	AB
150 °C	6	60,38	AB
170 °C	2	58,02	AB
130 °C	6	52,73	ABC
130 °C	6	56,73	ABC
150 °C	2	55,90	ABC
130 °C	2	55,89	ABC
110 °C	6	55,57	ABC
130 °C	4	55,31	BCD
110 °C	4	51,72	CD
110 °C	2	50,28	D
Kontrol	-	49,92	D

\bar{X} = Aritmetik Ortalama, H.G = Homojenlik Grubu

Duncan testi sonucuna göre farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir. Liflere paralel basınç direnci değerlerinde sıcaklık ve ısıtma işlem süresine bağlı olarak meydana gelen değişim şekil 4.3.'deki grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Liflere paralel basınç direnci değerleri grafiği

Şekil 4.3.'e göre ısı işlem liflere paralel basınç direncini arttırmıştır. Zamana bağlı olarak en yüksek basınç direnci 170 °C sıcaklıkta 6 saat süre sonunda 64,38 N/mm² elde edilmiştir. En düşük değer kontrol örneklerinden elde edilmiştir. Isıl işleme tabii tutulan lamine ağaç malzeme test örneklerinde, liflere paralel basınç direnci değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak liflere paralel basınç direnci değerlerindeki oranlarda da artış kaydedilmiştir. 170 °C'de ısı işlem görmüş örneklerde maksimum liflere paralel basınç direnci değerleri tespit edilmiştir. Isıl işlemde bekletme sıcaklığı ve süresi arttıkça buna paralel olarak da deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerinde de artış görüldüğü tespit edilmiştir.

4.1.4. Dinamik Eğilme (Şok Direnci)

Isıl işlem gören deney örneklerinde belirlenen dinamik eğilme (şok direncine) ait ortalama (\bar{X}), Standart Sapma (Std. Sp.), değerleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Dinamik eğilme (şok direnci) değerleri (kN/cm²)

Isıl işlem sıcaklığı(°C)	Süre (Saat)	\bar{X}	Std. Sp.
Kontrol	-	2,04	0,13
110 °C	2	1,86	0,08
	4	1,72	0,06
	6	1,65	0,04
130 °C	2	1,71	0,03
	4	1,69	0,05
	6	1,64	0,04
150 °C	2	1,63	0,07
	4	1,58	0,06
	6	1,55	0,04
170 °C	2	1,53	0,03
	4	1,39	0,05
	6	1,23	0,07

Isıl işlem görmüş deney örneklerinin şok direnci değeri en yüksek kontrol örneklerinde 2,04 kN/cm², en düşük ise 1,23 kN/cm² olarak 170 °C’de 6 saat süre ile ısıl işleme tabii tutulan deney örneklerinde tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasının genel olarak dinamik eğilme (şok direnci) değerini azaltıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde 2,04 kN/cm² olan şok direnci sıcaklık 150 °C sabit kabul edip bekletme sürelerinin 2 saat, 4 saat ve 6 saat olarak değiştirilmesi durumunda şok direnci değeri %17 ile %24 oranları arasında azaldığı tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulamasında kullanılan sıcaklık değeri, bekletme sürelerinin lamine malzemelerin şok direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11.’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Dinamik eğilme (şok direnci) değerine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F - Hesap	Önem Düzeyi (P≤0.05)
Uygulanan Model	13,68	12	1,14	36,28	0,00
Etkileşim	216,83	1	216,83	6900,77	0,00
Sıcaklık (°C)	6,33	3	2,11	67,20	0,00
Süre (saat)	1,41	2	0,70	22,52	0,00
Sıcaklık*Süre	0,73	6	0,12	3,88	0,00
Hata	3,67	117	0,03		
Toplam	240,18	130			

Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre deney örneklerine ısı işlem uygulamasında kullanılan sıcaklığın ve ısı işlemde bekletme süresinin dinamik eğilme (şok direncine) etkisi %95 güven aralığında anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

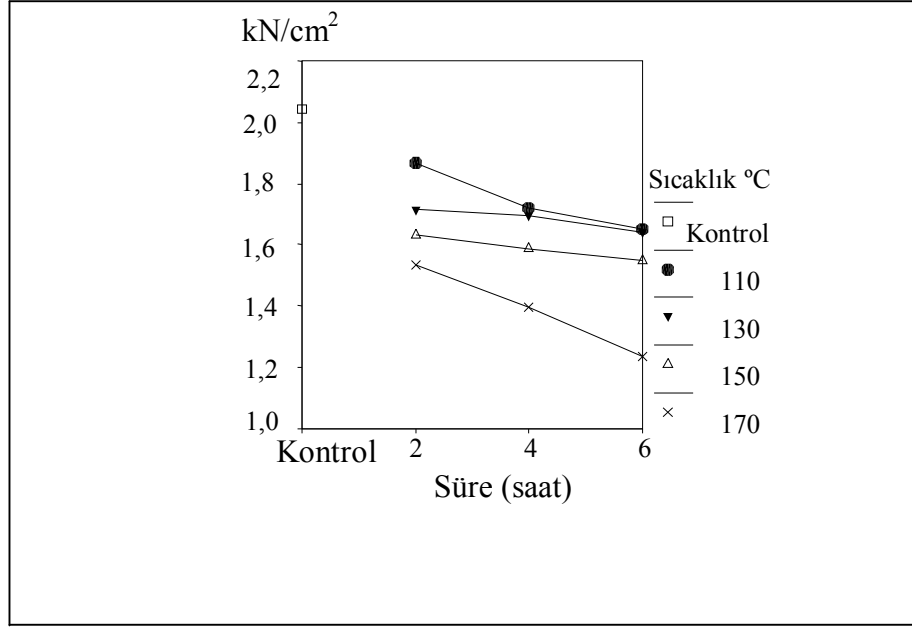
Farklılığın hangi parametreler arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Dinamik eğilme (şok direnci) duncan testi sonuçları

Koşullar		\bar{X}	H.G.
Sıcaklık	Süre		
Kontrol	-	2,04	A
110 °C	2	1,86	A
110 °C	4	1,72	A
130 °C	2	1,71	AB
130 °C	4	1,69	AB
110 °C	6	1,65	BC
130 °C	6	1,64	BC
150 °C	2	1,63	C
150 °C	4	1,58	D
150 °C	6	1,55	D
170 °C	2	1,53	D
170 °C	4	1,39	E
170 °C	6	1,23	F

\bar{X} = Aritmetik Ortalama, H.G = Homojenlik Grubu

Duncan testi sonucuna göre farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir. Şok direnci değerlerinde sıcaklık ve ısıtılma süresine bağlı olarak meydana gelen değişim Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Dinamik eğilme (şok direnci) değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.4.'e göre ısıtılma dinamik eğilme direncini azaltmıştır. Zamana bağlı olarak en yüksek dinamik eğilme direnci değeri kontrol grubunda $2,04 \text{ kN/cm}^2$ elde edilmiştir. En düşük değer olarak ise $1,23 \text{ kN/cm}^2$ olarak $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 6 saat süre ile ısıtılma uygulanan deney örneklerinden elde edilmiştir. Isıtılma sıcaklığının artmasına paralel olarak dinamik eğilme direnci değerlerinde de azalış kaydedilmiştir.

4.1.5. Liflere Paralel Çekme Direnci

Örneklerde belirlenen liflere paralel çekme direncine ait Aritmetik Ortalama (\bar{X}), Standart Sapma (Std. Sp.) değerleri Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Liflere paralel çekme direnci değerleri

Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Süre (Saat)	\bar{X}	Std. Sp.
Kontrol	-	9631,15	297,70
110 °C	2	8566,32	291,95
	4	7462,70	335,99
	6	7229,46	153,80
130 °C	2	7882,17	85,66
	4	7060,18	74,90
	6	6796,28	138,73
150 °C	2	7610,47	115,92
	4	6865,00	90,25
	6	6384,48	85,15
170 °C	2	7092,83	264,82
	4	6636,71	82,22
	6	5696,93	206,20

\bar{X} : Aritmetik Ortalama, Std. Sp. : Standart Sapma

Deney örneklerinin liflere paralel çekme direnci değeri en yüksek 110 °C'de 2 saat süre ile ısıl işlem gören deney örneklerinde 9266,31 N/mm², en düşük ise 5066,93 N/mm² olarak 170 °C'de 6 saat süre ile ısıl işlem gören deney örneklerinde tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasının genel olarak liflere paralel çekme direnci değerini azaltıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir.

Isıl işlem uygulamasında kullanılan sıcaklık değeri, ısıl işlemde bekletme sürelerinin lamine ağaç malzemelerin liflere paralel çekme direnci değerleri üzerine etkisini belirlemek için yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Liflere paralel çekme direnci değerine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi (P≤0.05)
Uygulanan Model	141052742,73	12	11754395,23	14,15	0,00
Etkileşim	6046867762,50	1	6046867762,50	7280,59	0,00
Sıcaklık (°C)	54410696,88	3	18136898,96	21,83	0,00
Süre (saat)	18143176,18	2	9071588,09	10,92	0,00
Sıcaklık*Süre	54665343,75	6	9110890,63	10,96	0,00
Hata	97173885,05	117	830546,03		
Toplam	6979542009,75	130			

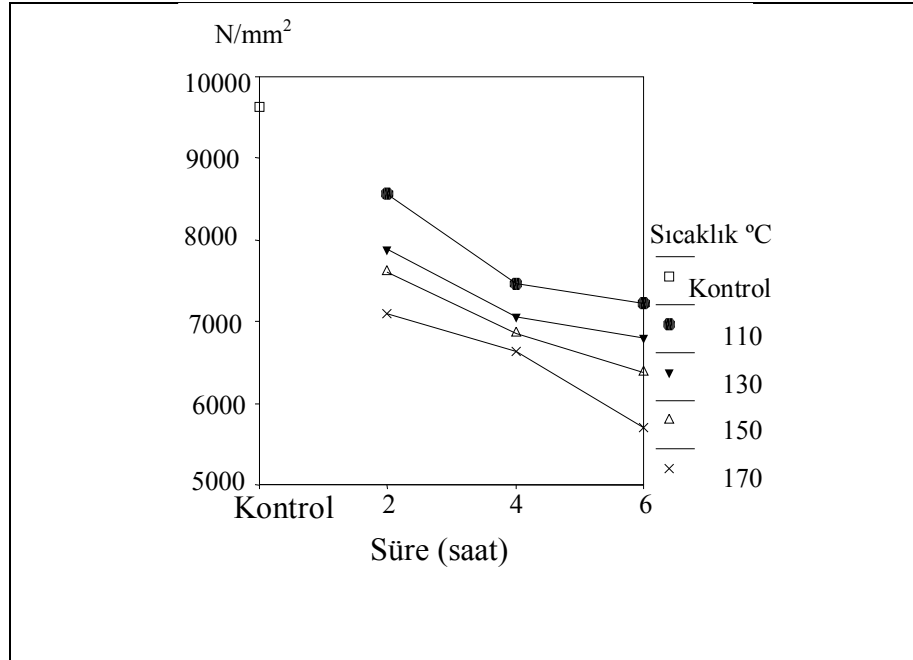
Çoklu varyans analizi sonuçlarına göre deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan numunelerin ısı işlem uygulamasında kullanılan sürenin ve sıcaklığın liflere paralel çekme direncine etkisi %95 güven aralığında anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Farklılığın hangi parametreler arasında önemli olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.15.'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Liflere paralel çekme direnci duncan testi sonuçları

Koşullar		\bar{X}	H.G.
Sıcaklık	Süre		
Kontrol	-	9631,15	A
110 °C	2	8566,32	B
130 °C	2	7882,17	BC
150 °C	2	7610,47	BC
110 °C	4	7462,70	BC
110 °C	6	7229,46	BC
170 °C	2	7092,83	BC
130 °C	4	7060,18	CD
150 °C	4	6865,00	CDE
130 °C	6	6796,28	DE
170 °C	4	6636,71	E
150 °C	6	6384,48	E
170 °C	6	5696,93	F

Duncan testi sonucuna göre farklı olan gruplar farklı homojenlik gruplarında gösterilmiştir. Liflere paralel çekme direnci değerlerinde sıcaklık ve ısıtılma süresine bağlı olarak meydana gelen değişim şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Liflere paralel çekme direnci değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.5.'e göre ısıtılma liflere paralel çekme direncini azaltmıştır. Zamana bağlı olarak en yüksek çekme direnci değeri kontrol örneklerinde $9631,15 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. En düşük değer $170 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 6 saat süre ile ısıtılma uygulanan örneklerde $5696,93 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. ısıtılma tabii tutulan lamine ağaç malzeme test örneklerinde, liflere paralel çekme direnci değerlerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. ısıtılma bekletme sıcaklığı ve süresi arttıkça buna paralel olarak da deney örneklerinin liflere paralel çekme direnci değerlerinde de azalış görüldüğü tespit edilmiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sarıçam odunundan elde edilen lamellerin farklı sıcaklıklarda (110 °C, 130 °C, 150 °C ve 170 °C’de) ve farklı sürelerde (2, 4, 6 saat) ısıtılma maruz bırakılmasından sonra Fenol Formaldehit reçinesiyle pres basıncı altında yapıştırılarak TS EN 386 esaslarına göre elde edilen lamine ağaç malzemelerin bazı mekanik özelliklerine ilişkin aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

Isıtılma tabii tutulan sarıçam lamellerinden elde edilen lamine test örneklerinde, eğilme direnci değerlerinin kontrol örneğine göre azaldığı belirlenmiştir. Isıtılma işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak eğilme direnci değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Eğilme direncinde en fazla azalma oranı 170 °C’de 6 saat süre ile ısıtılma tabii tutulan deney örneklerinde %36,6 tespit edilmiştir.

Eğilme direnci için benzer sonuçlar literatürde belirtilmektedir. Bu çalışmalarda ısıtılma işleminin eğilme direncinde %60-72 oranında azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Yıldız, 2007; Johansson, 2000).

(Johansson, 2000) 212 °C’de göknar için ThermoWood yöntemiyle %37’lik bir azalma bulmuşlardır. Viitaniemi, (1996) 180 °C normal atmosfer şartlarında yapılan ısıtılma işlem sonucunda %16’lık azalma bulmuşlardır. Yapılan başka bir çalışmada 200 °C’de 5 saat süreyle ısıtılma işlem uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları yaklaşık %50 civarında bulunmuştur. Literatürde termal bozunmadan olumsuz olarak en çok etkilenen odun özelliklerinden birinin eğilme direnci olduğu bildirilmekle birlikte, ısıtılma işleminin odunun direnç özellikleri üzerine verebileceği zararı daha azalmış hale getirmek için su buharıyla desteklenmiş bir sistemde ısıtılma işleminin uygulanmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir (Viitaniemi, 1996). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile aynı özellikleri taşımaktadır.

Isıl işlem sonrası eğilme direncindeki azalmanın esas nedeni hemiselülozların degradasyonuna atfedilir. Çünkü çok yüksek sıcaklıklarda olmayan ısıl işlem sonrasında selüloz ve ligninde depolimerizasyon ve degradasyon gözlenmediği belirtilmektedir. Isıl işlem sıcaklığının artması ile birlikte eğilme direncinde büyük oranda azalır (Stevens and Turner, 1970, Winandy and Lebow, 2001).

Yapılan çalışmalarda artan sıcaklık ve süreye paralel olarak meydana gelen ağırlık kaybı oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu nedenle ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artmasıyla azalan eğilme direnci değerlerini, yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan termal bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybıyla; aynı zamanda kimyasal analizler sonucunda ortaya çıkan hemiselüloz miktarındaki azalmayla ilişkilendirmek mümkündür (Yıldız, 2007, Winandy and Lebow, 2001).

Isıl işleme tabii tutulan lamine test örneklerinde, elastikiyet modülü değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir. 170 °C’de 6 saat süre ile ısıl işlem görmüş örneklerde maksimum elastikiyet modülü değerleri tespit edilirken bu sıcaklığın altındaki ısıl işlem sıcaklıklarındaki deney örneklerinin elastikiyet modülünün biraz daha az arttığı görülmektedir.

Literatürde ısıl işlemin eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Winandy and Lebow, 2001). 202 °C’de göknar odununda % 17’lik bir artış olduğunu bulmuşlardır. Chang and Keith (1978) ılımlı ısıl işlem sonucu odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını ancak çok yüksek sıcaklıklarda uygulamaların elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler. Bekhta and Niemz (2003) ısıl işlem sonucu elastikiyet modülündeki değişimin önemsiz olduğunu belirtmektedirler. Stevens and Turner (1970) göre yüksek sıcaklık ve sürenin elastikiyet modülünü arttırıcı rolü şu şekilde açıklanmaktadır. Odun, kısmen kristal yapıdaki mikrofibrillerden ve büyük oranda hemiselüloz ve lignin gibi amorf polimerik bileşenlerden meydana gelmektedir. Belli bir sıcaklığın üzerinde ısıl işleme tabii tutulduğunda çoğu amorf polimerik materyaller kırılğan (glassy-camsı) yapılarını elastik duruma dönüştürebilmektedirler. Kristal yapıdan elastik yapıya dönüş veya yumuşama sıcaklığında, bireysel polimerlerin karşılıklı çekim kuvvetlerini azaltan yeterli

enerjiye sahip olmaları söz konusudur. Böylelikle, bu odun polimerleri elastiki veya daha büyük oranda plastik bir yapıya dönüşebilmektedirler. Odunu plastikleştirmek amacıyla ağaç cinslerinin büyük bir kısmının su veya buharla ısıtıldığı bilinmektedir. Buharlama sırasında pektinin tümü ve ligninin bir kısmı çözülmemektedir. Orta lameldeki bağlayıcı maddenin çözülmesi dokuları gevşetmekte ve odun böylece daha elastik bir yapı kazanabilmektedir. Elastikiyet modülündeki küçük fakat fark edilebilir artış hemiselülozların degradasyonuna rağmen ısı işlem sonrası kristal selülozun nisbi miktarındaki artıştan kaynaklanmış olabilir. Ayrıca ısı işlem görmüş odun, kontrolden daha az higroskopiktir (çünkü hücre çeperleri daha az bağlı su içerir) bu da elastikiyet modülünü etkiler (Stevens and Turner, 1970).

Isıl işleme tabi tutulan lamine örneklerinin, liflere paralel basınç direnci değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlemlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak liflere paralel basınç direnci değerlerindeki oranlarda da artış kaydedilmiştir. 170 °C'de ısı işlem görmüş örneklerde maksimum liflere paralel basınç direnci değerleri tespit edilmiştir. Isıl işleme tabii tutulan lamine ağaç malzeme test örneklerinde, liflere paralel basınç direnci değerlerinde en fazla artış oranı 170 °C'de 6 saat bekletilerek elde edilen deney örneklerinde 64,38 N/mm² değerinde bir sonuç bulunmuştur. Isıl işlemde bekletme sıcaklığı ve süresi arttıkça buna paralel olarak da deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerinde de artış görüldüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç birkaç faktörle açıklanabilir; odunun mekanik özellikleri rutubet miktarıyla yakından ilişkilidir. Bağlı su miktarındaki artış ve hücre çeperinin polimerik bileşikleri arasındaki hidrojen bağlarının azalması direnç özelliklerini azaltır. Çünkü direnç kovalent ayrıca hidrojen polimer bağlarıyla ilişkilidir (Fengel and Wegener, 1989, Winandy and Lebow, 2001). Böylece ısı işlem direnç özelliklerine pozitif katkıda bulunabilir. Çünkü ısı işlem görmüş odun daha az higroskopiktir ve maksimum bağlı su miktarı azalmıştır (Bonstra et al., 1998). Çalışmada da ısı işlem görmüş odunun denge rutubet miktarının azaldığı belirlenmiş olup sonuçlar literatürle uyumludur. Winandy and Lebow (2001) hücre çeperi bileşenlerinin (selüloz, hemiselüloz, lignin) direnç özelliklerine farklı derecelerde katkıda bulunduğunu belirtmektedirler. Isıl işlem odun bileşenlerini ve bunların birbiriyle etkileşimini etkiler ve böylece odunun mekanik özellikleri etkilenir. Ayrıca kristal selülozunun katı ve sert yapısı liflere paralel yöndeki basınç direncindeki

artıŖa katkıda bulunabilir (Bonstra et al., 1998). Isıl iŖlem grmŖ ağaç malzemenin mekanik özellikleri üzerine ligninin etkisi açık değildir. Lignin selüloz mikrofibrillerinin sertleŖtiricisi olarak rol oynar (Stevens and Turner, 1970). Lignin ayrıca orta lamelin ana bileŖenidir (Fengel and Wegener, 1989) ve lignin polimer ağının artan çapraz bağları orta lamelin direncini artırır ve sonuç olarak hücre çeperinin direnç özelliklerini etkiler bu olay lignin polimer ağının odunun direnç özelliklerine direkt katkısının bir göstergesidir (Bonstra et al, 1998). Böylece odun matrixinde ısıl iŖlem sıcaklığının artıŖıyla hemiselülozlar bozularak odun içindeki % lignin miktarı artıŖı basınç direncinde artıŖa neden olabilir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda aşağıda verilen öneriler dikkate alınabilir.

Bu çalışmaya göre; 110 °C, 130 °C, 150 °C ve 170 °C sıcaklıklarda 2, 4, 6 saat süre ile ısıtılmış sarıçam lamellerinden elde edilmiş lamine ağaç malzemelerin yük kaldırma veya yüke maruz kalacak yerlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir. Fakat hafif malzemelerin kullanıldığı dekorasyon, dış cephe kaplama, gemi v.b yerlerde kullanılabilir. Aynı zamanda ısıtılma tabii tutulmuş ağaç malzemenin normal oduna göre daha düşük denge rutubetine sahip oluşundan dolayı dekorasyon, dış cephe kaplama, havuz kenarlarında kaymayı engelleyici malzeme ve özellikle birinci dereceden suyla temas halinde olan gemi ve yatların güverte bölümlerinde rahatça kullanılabilir.

Boyutsal stabilite arttığı için sarıçam odun türünün çalışmasının istenmediği durumlarda ısıtılma tavsiye edilebilir.

Isıtılma sonrası odun renginde meydana gelen değişim ve kavuştuğu homojen yapıdan dolayı da gerek dış cephe kaplamalarında gerekse mekanik yüklere maruz kalmayacakları tavan ve taban döşemelerinde dekoratif amaçlı kullanım için idealdir.

Yapılan çalışmada sarıçam odunundan elde edilen lamine ağaç malzemenin ısıtılma sıcaklığının artmasıyla eğilme direnci, liflere paralel çekme direnci, dinamik eğilme (şok) direnci değeri azaldığı için statik eğilme ve dinamik eğilme direncinin önem kazandığı kullanım alanlarında değerlendirilmemesi gerekmektedir. Fakat statik dirençlerden olan liflere paralel basınç direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin ısıtılma uygulamasından sonra artmasından dolayı ağaç malzemenin liflere paralel basınç direnci ve eğilmede elastikiyet modülünden yararlanmak amacıyla değerlendirilmesi uygun görülmektedir.

KAYNAKLAR

Akgün, K., “Lamine edilmiş kestane odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine tanen ve ısıt işlemin etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bartın, 1-2 (2008).

ASTM D 3110 Adhesive used in nonstructural glued lumber product, **ASTM Standards**, west conshohocken PA., USA. (1988).

Aydemir, D., “Gök nar (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) ve Gür gen (*Carpinus Betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısıt işlemin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bartın, 43-47 (2007)

Bekhta, P., and Niemz, P., “Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood”, **Holzfor schung**, 57(5): 539–546 (2003).

Bengtsson, C., Jermer, J., Clang, A., and Olausson, B., “Investigation of some technical properties of heat-treated wood”, **International Research Group on Wood Preservation**, 10-12 (2003).

Bhuiyan, M., T., R., Hirai, N., and Sobue, N., “Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose”, **Journal of Wood Science**, 47(5): 336–341 (2001).

Bonstra, M., J., Tjeerdsma, B., F., and Groeneveld, H., A., C., “Thermal modification of nondurable wood species. 1. The plato technology; thermal modification of wood”, **International Research Group on Wood Preservation**, 35-38 (1998).

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

Bourgois, J., Janin, G., and Guyonnet, R., “Measuring colour: a method of studying and optimising the chemical transformations of thermally-treated wood”, **Holzfor schung**, 45(5): 377–382 (1991).

Bozkurt, A., Y., and Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, **İ.Ü. Orman Fakültesi**, İstanbul, 86-89 (1989).

Bozkurt, Y., Erdin, N., “Ticarette önemli yabancı ağaçlar”, **İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 162-164 (1989).

BS EN 204 No structural adhesives for joining of wood and derived timber products, *British Standards*, England (1991).

Burmester, A., “Effects of heat pressure treatments of semi-dry wood on its dimensional stability”, *Holz als Roh und Werkstoff*, 31(6): 237–243 (1973).

Burmester, A., “The dimensional stabilization of wood”, *Holz als Roh und Werkstoff*, 2(2): 112–119 (1975).

Chang, C., I., and Keith, C., T., “Properties of heat-darkened wood. II. mechanical properties and gluability”, Ottawa: Eastern Forest Products Laboratory, *Fisheries and Environment*, Canada, 11–19 (1978).

Chow, S., Z., “Infrared spectral characteristics and surface inactivation of wood at high decomposition of cellulose, hemicellulose and lignin”, *Cellulose Chemistry and Technology*, 1(3): 277–285 (1971).

DIN 1052 Structural use of timber (Design and Construction), Longitudinal joints: 12/3. *Deutsche Norm*, Berlin, Germany (1998).

DIN 68140 Finger joints in wood, Part1: Finger jointed structural timber, *Deutsche Norm*, Berlin, Germany (1998).

Faherty, K., F., Williamson, T., G., “Wood engineering and construction handbook”, *Mc Graw Hill Publishing Camp.*, USA 72-75 (1989).

Feist, W., C., and Sell, J., “Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas”, *Wood and Fiber Science*, 19(2): 183-195 (1987).

Feist, W., C., Hajny, G., J., and Springer, E., L., “Effect of storing green wood chips at elevated temperatures”, *Tappi*, 56(8): 91–95 (1973).

Fengel, D., and Wegener, G., “Wood: chemistry, ultrastructure, reactions”, *Walter De* 33(9): 333–335 (1989).

Fung, D., P., C., Stevenson, J., A., and Shields J K “The effect of heat and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ on the dimensional and anatomical properties of douglas-fir”, *Wood Science*, 7(1): 13–20 (1974)

Genç, M., Gaffar, C., Bilir, N., Güner, T., S., and Gülcü, S., “Isparta-Ayazman anadolu kestanesi meşçeresi”, *Tabiat ve İnsan Dergisi* Sayı: 3, 20-28 (2001).

Giebeler, E., “Dimensional stabilization of wood by moisture-heat-pressure treatment”, *Holz roh und werkstoff*, 41: 87-94 (1983).

Gren, D., W., “Adjusting modulus of elasticity of lumber for changes in temperature”, *Forest Products Journal*, 49(10): 82–94 (1999).

- Gren, D., W., Evans, J., W., and Craig, B., “Durability of structural lumber products at high temperature”, *Wood and Fiber Science* 35(4): 499–523 (2003).
- Hietala, S., Maunu, S., L., Sundholm, F., Jämsä, S., and Viitaniemi, P., “Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements”, *Holzforschung*, 56(5): 522–528 (2002).
- Hirai, N., Sobue, N., and Asano, I., “Studies on piezoelectric effect of wood”, *Mokuzai Gakkaishi*, Vol. 18(11): 535–542 (1972).
- Hon, D., N., S., and Minemura, N., “Color and discoloration in wood and Cellulosic chemistry”, *Wood and Fiber Science*, New York, 12-15 (1991).
- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., and Rowell, R., M., “Steam or heat fixation of compressed wood”, *Wood and Fiber Science*, 25(3): 224-235 (1993).
- Johansson, C., I., Saddler, J., N., and Beatson, R., “Characterization of the polyphenolics related to the colour of western red cedar (*Thuja plicata* Donn) heartwood”, *Holzforschung*, (54): 246-254 (2000).
- Kamuf, W., Nixon, A., Parker, O., and Barnum, C., “Overview of caramel colors”, *Cereal Foods World*, (48): 64-69 (2003).
- Kawamura, F., Ohashi, H., Kawai, S., Teratani, F., and Kai, Y., “Photodiscoloration of western hemlock (*Tsuga heterophylla*) sapwood”, *II. Structures of constituents causing photodiscoloration*, *Mokuzai Gakkaishi*, (42): 301-307 (1996).
- Keith, C., T., and Chang, C., I., “Properties of heat darkened wood. I. hygroscopic properties report”, *Eastern Forest Products Laboratory*, Canada, 18-21 (1978).
- Keskin, H., “Lamine masif ağaç malzemelerin teknolojik özellikleri ve ağaç işleri endüstrisinde kullanım imkanları” Doktora Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 65-69 (2001).
- Kındır, Ö.,” Kestane ağacının (*Castanea sativa* Mill.) kimyasal analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 42-44 (2002).
- Kızılırmak, H., Kestane ağacının laminasyon özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 56-58 (2007).
- Kim, D., Y., Nishiyama, Y., Wada, M., Kuga, S., and Okano, T., “Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood”, *Wood Science*, *Holzforschung*, 55(5): 521–524 (2001).
- Lebow, S., T., and Winandy, J., E., “The role of grade and thickness in the degradation of fire-retardant-treated plywood”, *Forest Products Journal*, USA, 48(6): 88–94 (1999).

- Levan, S., M., and Evans, J., W., “Mechanical properties of fire-retardant treated plywood after cyclic temperature exposure”, *Forest Products Journal*, USA, 46(5): 64–71 (1996).
- Mayes, D., and Oksanen, O., “ThermoWood Handbook”, *Finnforest*, Finland, 72-74 (2002).
- Millet, M., A., and Gerhards, G., C., “Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C”, *Wood Science*, 4(4): 197–201 (1972).
- Mitchell, P., H., “Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen”, *Wood and Fiber Science*, Finland, 20(3): 20–25 (1988).
- Pasek, E., and McIntyre, C., R., “Heat effects on fire retardant treated wood”, *J. Fire Sci*, 8: 405–420 (1990).
- Repellin, V., and Guyonnet, R., “Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition”, *Holzforschung*, 59(1): 28–34. (2005).
- Rusche, H., “Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 °C–Part-I: strength properties of dried wood after heat treatment”, *Holz Roh und Werkstoff*, 31: 273–281 (1973).
- Schneider, A., “Investigations on the influence of heat treatment in the temperature range 100-200 °C on modulus of elasticit”, *Holz Roh und Werkstoff*, 29(11): 431-440 (1971).
- Schneider, A., “Investigation on the convection drying of lumber at extremely high temperatures”, *Holz Roh und Werkstoff*, 31: 198–206 (1973).
- Schneider, A., and Rusche, H., “Sorptions behaviour of beech and spruce wood after heat treatment in air and in vacuum”, *Holz als Roh und Werkstoff*, 31(8): 313–319. (1973).
- Sehlstedt Persson, M., “Colour responses to heat-treatment of extractives and sap from pine and spruce”, *Proceedings 8th International IUFRO Wood Drying Conference*, Brasov, Romania, 13-16 (2003).
- Spannagel, F., “Der möbel bau, zehnte, vollständig neu bearbeitete auflage”, *Otto Maier Verlag Ravensburg*, Stuttgart, Germany, 17-19 (1974).
- Stamm, A., J., and Baechler, R., H., “Decay resistance and dimensional stability of five modified woods”, *Forest Products Journal*, 10(1): 22–26 (1960).
- Stevens, W., C., and Turner, N., “Wood bending handbook”, *Wood and Fiber Science*, London, England, 58-61 (1970).

Syrjanen, T., and Kangas, E., “Heat treated timber in Finland”, *International Research Group on Wood Preservation*, 13-15 (2000).

Takahashi, M., “Biological properties of chemically modified wood in chemical temperatures”, *Wood Science and Technology*, 5(1): 27–39 (1996).

TS 2471 “Odunun fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini”, *TSE Standardı*, Ankara (1976).

TS 2472 “Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini”, *TSE Standardı*, Ankara (1992).

TS 2474 “Odunun statik eğilme dayanımının tayini”, *TSE Standardı*, Ankara (1976).

TS 2478 “Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini”, *TSE Standardı*, Ankara (1976).

TS EN 310 “Ahşap esaslı levhalarda eğilme dayanımı ve eğilme elastiklik modülünün tayini”, *TSE Standardı*, Ankara (1997).

TS EN 386 “Ahşap esaslı levhalarda numune alınması ve deney parçalarının hazırlanması”, *TSE Standardı*, Ankara (1997).

Viitaniemi, P., and Lamsa, S., “Modification of wood with heat treatment”, *VTT Building Technology*, Espoo, Finland 11-14 (1996).

Vital, B., R., and Lucia, M., D., “Effect of heating on some properties of eacalyptus saligna wood”, *Revista Arvore*, 7(2): 136-146 (1983).

Winandy, J., E., “Effects of fire retardant retention, borate buffers, and re-drying temperature after treatment on thermal-induced degradation”, *Forest Products J.* 47(6): 79–86 (2001).

Winandy, J., E., and Lebow, P., K., “Modeling wood strength as a function of chemical composition an individual effects model”, *Wood and Fiber Science*, 33(2): 239–254 (2001).

Woo, J., K., “Effect of thermal exposure on strength of wood treated with fire retardants”, Dept., *Wood Science*, Univ. of California Ph. D thesis. Berkeley, CA. (1981).

Yaltrık, F., “Dendroloji 1”, *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, 79-83 İstanbul (1981).

Yıldız, S., and Gümüşkaya, E., “The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood”, *Building and Environment*, 42 (1) 62–67 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

İsa BAŞTUĞ 1984 yılında KIRŞEHİR ili Kaman ilçesinde doğdu. İlkokulu İbrişim köyü ilkokulunda, ortaokulu Kaman Merkez İlköğretim ortaokulunda, liseyi ise Kaman Anadolu Meslek, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinin Mobilya ve Dekorasyon bölümünde 2001 yılında tamamladı. 2002 yılında kazanmış olduğu ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliğinden 2006 yılında “iyi” derece ile mezun oldu.

2007 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümünde başlamış olduğu yüksek lisans programından Haziran 2010’da mezun olmuştur. 2008 yılında atanmış olduğu Bingöl Anadolu Meslek, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde Ahşap Teknolojisi öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Yenişehir mah. Hürriyet caddesi Zeki Bayram apt. Kat:4 Daire no:15

BİNGÖL

Gsm : (506) 576 20 80

E-Posta : bastug_isa@hotmail.com